

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

PROYECTO FIN DE CARRERA

MONITOR SÍSMICO INTERACTIVO

Madrid, Octubre 2012

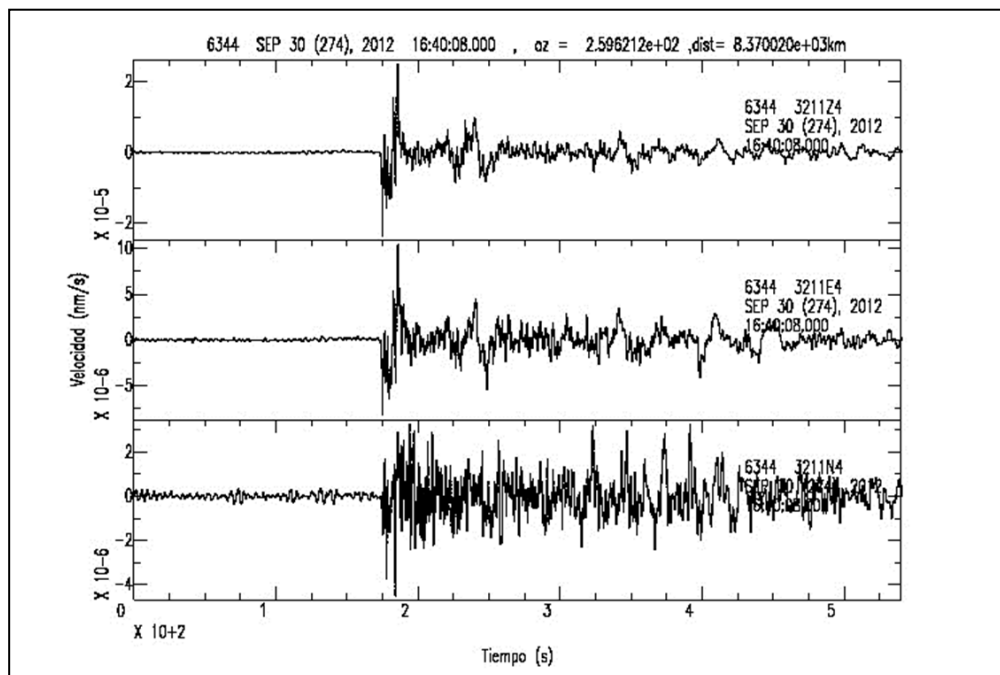
Alumno: Vicente Álvarez Fernández

Tutor: D. Juan José Rueda Núñez

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

PROYECTO FIN DE CARRERA

MONITOR SÍSMICO INTERACTIVO



Madrid, Octubre 2012

Alumno: Vicente Álvarez Fernández

Tutor: D. Juan José Rueda Núñez

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivos la monitorización en tiempo real de la actividad sísmica, tanto próxima como lejana, a partir de los datos sísmicos registrados por una estación de banda ancha, y el desarrollo de un sistema de difusión interactiva de información actualizada de terremotos, destinado al público general. Ambas fuentes de información se mostrarán a través de una Unidad de Visualización denominada “Monitor Sísmico Interactivo”.

El registro de los datos sísmicos se realiza utilizando el sensor de tres componentes de la estación sísmica GUD, perteneciente a la Red Digital de Banda Ancha y transmisión digital del Instituto Geográfico Nacional, instalada en la Basílica del Valle de los Caídos, en la localidad de Guadarrama (Madrid). En la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía se ha instalado un ordenador con conexión a Internet, para la recepción y almacenamiento de los datos, y los programas Scream y Drumplot desarrollados por Guralp, necesarios para la monitorización de la señal sísmica en tiempo real. A partir de estos datos, mediante aplicaciones desarrolladas bajo programación Linux y haciendo uso de las herramientas que ofrece el software SAC (Seismic Analysis Code), se genera además un registro gráfico y una película animada de dicha segmentación para cada evento.

Se ha configurado un servidor de correo y una cuenta para la recepción de dos tipos de mensajes de correo, enviados desde la sede central del Instituto Geográfico Nacional, con la información de los eventos registrados por GUD una vez revisados:

- Mensajes enviados diariamente, con un listado de eventos ocurridos en los 30 últimos días.
- Mensajes con la información en cuasi tiempo real de la última alerta sísmica.

Se ha desarrollado el programa “saco” para la gestión del correo recibido que analiza la información sísmica, la almacena en ficheros y ejecuta sobre ellos las aplicaciones de dibujo. Estas aplicaciones han sido previamente desarrolladas bajo programación Linux y software GMT (Generic Mapping Tools), y a partir de ellas se generan automáticamente las distintas imágenes que se visualizan en el Monitor Sísmico: un mapa de sismicidad próxima en la península Ibérica, un mapa de sismicidad lejana en el mundo, un mapa de detalle para localizar y representar la última alerta generada, los listados con la información de los eventos representados en los mapas, los registros gráficos y las películas animadas de dichos sismogramas.

Monitor Sísmico Interactivo ha sido desarrollado para ofrecer además la posibilidad de interactuar con la Unidad de Visualización: se ha creado una base de datos para uso científico donde se almacenan todos los eventos registrados por GUD. Así el usuario puede realizar una petición, a través del envío de un mensaje de correo, que le permite visualizar de forma instantánea las imágenes que muestran la información de cualquier terremoto de su interés.

ABSTRACT

This study is aimed at real-time monitoring of both near and distant seismic activity from the seismic data recorded by a broadband seismic station, and the development of an interactive broadcast system of updated information of earthquakes, for the general public. Both sources of information are displayed through a display unit called "Interactive Seismic Monitor".

The seismic data recording is carried out by using the three-component sensor of the GUD seismic station, which belongs to the Digital Network Broadband and digital broadcast of the National Geographic Institute, housed in the Basilica of The Valley of the Fallen, in the town of Guadarrama (Madrid). A computer with Internet connection has been installed in E.T.S.I. Surveying, Geodesy and Cartography for receiving and storing data, together with Scream and Drumplot programs, developed by Guralp, which are necessary for monitoring the real time seismic signal. Based on the data collected, through programming applications developed under Linux system and using the software tools provided by the SAC (Seismic Analysis Code), a chart recorder and an animated gif image of the segmentation for each event are also generated.

A mail server and a mail account have been configured for the receipt of two types of email messages, sent from the National Geographic Institute head office, with the information of the events recorded by GUD after being reviewed:

- Messages sent daily, providing a list of events in the past 30 days.
- Messages containing information on near real-time seismic of the last seismic alert.

A program called "saco" has also been developed for handling mail received that analyzes the seismic data, which stores it in files and runs drawing applications on them. These applications have been previously developed under Linux system and software programming GMT (Generic Mapping Tools), and from them different images that are displayed on the Seismic Monitor are automatically generated: a near seismicity Iberian peninsula map, a distant seismicity world map, a detailed map to locate and represent the last seismic alert generated, the lists with the information of the events depicted in the maps, together with the charts and the animated gif image of such seismograms.

Interactive Seismic Monitor has been developed to offer any user the possibility of interacting with the display unit: a database has been created for scientific use which stores all the events recorded by GUD. Thus, any user could make a request, by sending an e-mail that allows them to view instantly all the images showing the information of any earthquake of interest on the display unit

Agradecimientos

Quisiera comenzar agradeciendo a mi tutor D. Juan José Rueda Núñez la oportunidad que me ha brindado para realizar este Trabajo. Su constante orientación, transmisión de conocimientos y sus valiosos comentarios y sugerencias han sido fundamentales en cada una de las etapas de este periodo de formación, que concluye con la presentación de este Proyecto Final de Carrera. Ha sido una aventura profesional y personal muy gratificante.

Por otra parte, agradecer a Jaime Barco y Resurrección Antón, compañeros del IGN en la Red Sísmica Nacional, el apoyo mostrado en todo momento para ayudarme a solventar cualquier duda y plantear nuevas, por sus propuestas de mejora y su colaboración con la instalación del programa GMT en el ordenador de la Escuela de Topografía.

A Juan Ramón de la Torre, ingeniero en telecomunicaciones en Ofiteco, por su colaboración en la revisión de la instrumentación sísmica durante la visita a la Residencia de la UPM Lucas Olazábal en Cercedilla, y su ayuda prestada en la configuración de los programas Scream y Drumplot para la transmisión de datos sísmicos en tiempo real, registrados por la estación sísmica del IGN en la Sierra de Guadarrama (GUD) hasta la Escuela de Topografía.

Me resulta inevitable dedicar unas palabras a mi familia, amigos y a Laura. Mis más sinceras gracias por vuestro apoyo y por estar a mi lado en cualquier camino profesional y personal que emprendo. ¡Qué fácil resulta todo a vuestro lado!

ÍNDICE

1. Introducción.....	13
1.1. Sistemas de monitorización sísmica destinados al público general...	14
1.1.1. Sistemas de información de terremotos en los EE.UU.....	14
1.1.1.1. IRIS.....	14
1.1.1.1.1. Monitor sísmico.....	15
1.1.1.2. USGS.....	18
1.1.1.2.1. Exhibición en museos.....	18
1.1.1.3. USGS – IRIS.....	21
1.1.2. Sistemas de información de sísmica en España.....	23
1.1.2.1. Museo Nacional de Ciencias Naturales.....	23
1.1.2.2. Museo de las Ciencias y el Cosmos.....	24
1.1.2.3. CosmoCaixa Barcelona.....	25
1.2. Sistemas de monitorización sísmica para centros de alerta y de uso científico.....	26
1.2.1. Centro Nacional de Información Sísmica.....	26
1.3. Parámetros de localización y parámetros de tamaño.....	28
1.3.1. Parámetros de localización.....	28
1.3.1.1. Planteamiento y estudio del sistema de ecuaciones de observación.....	30
1.3.2. Parámetros de tamaño.....	34
1.3.2.1. Escala de magnitud.....	34
1.3.2.1.1. Escala sismológica de magnitud momento.....	38
1.3.2.2. Intensidad.....	42
1.3.2.2.1. Escala de intensidad macrosísmica europea EMS-98	44
2. Revisión de la instrumentación de la estación sísmica.....	56
2.1. Estación sísmica de corto periodo de Cercedilla.....	56
2.1.1. Sismómetro.....	59
2.1.2. Sistema acondicionador de señal y telemetría.....	61
2.2. Estación sísmica de banda ancha de Guadarrama (GUD).....	68
2.2.1. Instrumentación de GUD.....	73
2.2.2. Sistema de adquisición de información sismológica.....	75
2.2.3. Sistema de almacenamiento.....	79
2.2.4. Sistema de alimentación.....	79
2.2.5. Sistema de tiempo.....	79
2.2.6. Sistema de comunicaciones.....	81
2.2.7. Ruido sísmico de GUD.....	83
3. Transmisión de datos sísmicos desde la estación sísmica en tiempo real.....	88
3.1. Instalación de hardware.....	90
3.2. Instalación de software.....	91
3.2.1. Sistema operativo.....	91
3.2.2. Gestor de correo electrónico.....	92

3.2.3. Drumplot.....	95
3.2.3.1. Instalación y ejecución.....	95
3.2.3.2. Descripción.....	95
3.2.4. Scream.....	97
3.2.4.1. Instalación y ejecución.....	97
3.2.4.2. Descripción y configuración.....	98
3.2.4.2.1. Configuración en la recepción/transmisión y almacenamiento de datos.....	98
3.2.4.2.2. Configuración de los parámetros de visualización de datos.....	100
4. La Unidad de Visualización de datos sísmicos.....	103
4.1. Gestión de la alerta y envío de los resúmenes diarios de sismicidad.....	103
4.1.1. Desarrollo de la aplicación “saco”.....	106
4.2. Diseño y desarrollo del software de visualización de información de terremotos	113
4.2.1. Instalación del software: GMT (Generic Mapping Tools).....	114
4.2.2. Diseño del mapa de sismos próximos y mapa de sismos lejanos.....	118
4.2.2.1. Mapa de sismos próximos.....	118
4.2.2.2. Mapa de sismos lejanos.....	122
4.2.3. Diseño de los mapas de detalle.....	126
4.2.4. Diseño de los listados de terremotos.....	128
4.3. Diseño y desarrollo del software de visualización de registros gráficos de la actividad sísmica registrada y analizada.....	130
4.3.1. Instalación del software: SAC (Seismic Analysis Code).....	131
4.3.2. Segmentación.....	133
4.3.2.1. Cálculo de la hora inicio del segmento.....	135
4.3.2.2. Corrección instrumental.....	139
4.3.2.3. Filtrado de la señal.....	142
4.3.3. Película animada.....	142
4.4. Interacción a través de correo electrónico.....	144
4.5. Confección y diseño de las distintas áreas que componen la Unidad de Visualización de datos sísmicos.....	145
5. Conclusiones.....	153
5.1. Futuros desarrollos y líneas de mejora.....	154
A. Software desarrollado.....	155
Referencias.....	215

LISTA DE FIGURAS

1.1.	<i>Monitor Sísmico desarrollado por IRIS.....</i>	15
1.2.	<i>Imagen ampliada de una región de interés en Monitor Sísmico IRIS.....</i>	16
1.3.	<i>Lista de terremotos ocurridos en una determinada región en las dos últimas semanas en Monitor Sísmico IRIS.....</i>	16
1.4.	<i>Información sobre una estación sísmica en la aplicación en Monitor Sísmico IRIS.....</i>	17
1.5.	<i>Lista de estaciones sísmicas que han registrado un determinado terremoto en la aplicación en Monitor Sísmico IRIS.....</i>	17
1.6.	<i>Sismograma correspondiente a la estación sísmica RABL, obtenido en la aplicación en Monitor Sísmico IRIS.....</i>	18
1.7.	<i>Monitor de información de terremotos en tiempo real y registrador de tambor desarrollado por USGS.</i>	20
1.8.	<i>Sensor sísmico interactivo en el museo, desarrollado por USGS.....</i>	21
1.9.	<i>Exposición del sistema de información sísmica “La Tierra en Movimiento”.....</i>	22
1.10.	<i>Sensor sísmico interactivo en la exposición del sistema de información sísmica “La Tierra en Movimiento”.....</i>	23
1.11.	<i>Exposición “Viviendo con Volcanes” en el Museo de Ciencias Naturales durante los años 2000-2002.....</i>	24
1.12.	<i>Sismómetros de período corto (Benioff) y de periodo largo (Sprengnether) instalados a unos 7 metros de profundidad encima de pilares aislados de la estructura del edificio y contruidos sobre roca, en las instalaciones del Observatorio del Ebro en Cataluña, transmitida su señal al Museo CosmoCaixa de Barcelona.....</i>	26
1.13.	<i>Red de estaciones sísmicas que conforman la Red Sísmica Nacional en España.....</i>	27
1.14.	<i>Gráfico de la ruptura en la superficie de una falla. La ruptura se propaga desde el foco sísmico, el hipocentro, por la superficie de la falla. El punto sobre la superficie en la proyección vertical del hipocentro, se llama epicentro.....</i>	28
1.15.	<i>Solución gráfica para la ubicación del hipocentro y triangulación del epicentro por el método de los círculos.....</i>	29
1.16.	<i>Representación esquemática del hipocentro, estación y rayo sísmico.....</i>	31
1.17.	<i>Sismograma que muestra cómo las ondas P se registran antes que las ondas S. El tiempo transcurrido entre ambos instantes es Δt. Este valor y el de la amplitud máxima (A) de las ondas S, le permitieron a Richter calcular la magnitud de un terremoto.....</i>	35
1.18.	<i>Escala de Mercalli Modificada (MM).....</i>	43
1.19.	<i>Gráfico que muestra el criterio seguido para definir el porcentaje de población que ha sentido un determinado terremoto en la Escala Macrosísmica Europea EMS-98.....</i>	48
1.20.	<i>Mapa de isosistas que muestra la evaluación de la intensidad en la escala EMS-98 de los efectos del terremoto ocurrido en Lugo (Galicia), el 21 de Mayo de 1997 (5,3mbLg), Rueda y Mezcua (2001). Los datos de la zona portuguesa han sido facilitados por el Instituto de Meteorología de Portugal.....</i>	53
2.1.	<i>Plano de localización de la Residencia “Lucas Olazábal” en Cercedilla (Madrid).....</i>	56
2.2.	<i>Caseta que aloja la instrumentación de la estación de Cercedilla.....</i>	57
2.3.	<i>Esquema de la instalación de la estación sísmica en la Residencia “Lucas Olazábal” en Cercedilla.....</i>	58
2.4.	<i>Sismómetro Kinematics Ranger SS-1 instalado en el interior de la caseta de la Residencia “Lucas Olazábal”.....</i>	59
2.5.	<i>Detalle del sismómetro Kinematics Ranger SS-1 instalado en el interior de la caseta de la Residencia “Lucas Olazábal”.....</i>	59
2.6.	<i>Curva de amplificación del sistema formado por el sismómetro Kinematics SS-1, el amplificador /filtro AM-2 (para filtros de 0,3-12,5 Hz) y su visualización en el registrador VR-2.....</i>	60

2.7.	<i>Módulos electrónicos que componen el sistema de acondicionamiento de la señal sísmica junto con el sismómetro de la estación de Cercedilla.....</i>	62
2.8.	<i>Módulos electrónicos que componen el sistema de acondicionamiento de la señal sísmica de la estación de Cercedilla.....</i>	62
2.9.	<i>Detalle del conversor analógico/digital (ADC) averiado.....</i>	63
2.10.	<i>Imagen de un pulso de calibración en una estación analógica.....</i>	63
2.11.	<i>Diagrama de bloques del recorrido y tratamiento aplicado a la señal en cada uno de los distintos elementos de la estación sísmica de corto periodo y componente vertical de la Residencia “Lucas Olazábal” en Cercedilla.....</i>	64
2.12.	<i>Gabinete de telemetría en el puesto central de registro en la Residencia “Lucas Olazábal” formado por: reloj satélite, discriminadores y tambor registrador gráfico.....</i>	65
2.13.	<i>Imagen del registro analógico (sismograma) en una estación de corto periodo.....</i>	66
2.14.	<i>Plano de situación de la Basílica del Valle de los Caídos en Guadarrama (Madrid).....</i>	68
2.15.	<i>Curva de respuesta del sismómetro de banda ancha de la estación sísmica GUD.....</i>	70
2.16.	<i>Esquema de un sismómetro de tres componentes.....</i>	71
2.17.	<i>Acceso desde el suelo de la Basílica a la galería que conduce a la instrumentación que conforma el sistema de adquisición sismológica de GUD.....</i>	72
2.18.	<i>Cámara al final de la galería, emplazamiento de la instrumentación que conforma el sistema de adquisición sismológica de GUD y su enlace con el sistema de comunicaciones.....</i>	72
2.19.	<i>Esquema de la instalación de la estación sísmica GUD en la Basílica del Valle de los Caídos en Guadarrama.....</i>	74
2.20.	<i>Imagen del sismómetro Streckeisen STS-2 (carcasa verde), instalado sobre un zócalo metálico para evitar su desplazamiento y cubierto con una campana de metacrilato que sirve de aislamiento térmico y de humedad.En el mismo pilar se encuentra instalado el sismómetro de corto periodo de una estación analógica, también operativo.....</i>	76
2.21.	<i>Imagen de la curva de respuesta teórica del sismómetro Streckeisen STS-2 definida por su función de transferencia, en la estación de banda ancha GUD. La respuesta se expresa en V/m/s como una función de la frecuencia. La línea al nivel de 525 V/m/s que corta a la curva de respuesta a 0,01 y 42Hz, delimita la parte plana del ancho de banda.....</i>	76
2.22.	<i>Imagen del digitalizador Guralp y sus conexiones con la fuente de alimentación, la señal de tiempo GPS, la entrada de datos del sensor STS-2 después de pasar por el Host box (carcasa verde al fondo) y la comunicación bidireccional de envío de datos con el sistema de comunicaciones GPRS/UMTS.....</i>	77
2.23.	<i>Detalle de la entrada de datos analógicos del sensor al Host box mediante el cable naranja, y de ahí al conversor A/D (digitalizador Guralp).....</i>	77
2.24.	<i>Imagen de un pulso de calibración en una estación digital.....</i>	78
2.25.	<i>Cuadro de conexiones que enlaza el sistema remoto de adquisición de información sismológica con el sistema de comunicaciones en la caseta de La Piedad.....</i>	78
2.26.	<i>Antena receptora GPS (forma de seta) y antena GPRS/UMTS (forma plana rectangular), instaladas junto a la estatua derecha La Piedad.....</i>	80
2.27.	<i>Vista general del emplazamiento donde están instaladas las antenas GPS y GPRS/UMTS de la estación GUD, en La Piedad derecha.....</i>	80
2.28.	<i>Detalle del conversor RS422-RS232 de RS y con sus respectivas protecciones Ethernet, instalado en el panel de conexiones de “la Cueva”.....</i>	81
2.29.	<i>Diagrama de bloques que representa el sistema de comunicaciones de la estación GUD....</i>	82
2.30.	<i>Análisis espectral del ruido ambiente de GUD (componente E).....</i>	86
2.31.	<i>Análisis espectral del ruido ambiente de GUD (componente N).....</i>	86
2.32.	<i>Análisis espectral del ruido ambiente de GUD (componente Z).....</i>	87

3.1.	<i>Transmisión digital GPRS/UMTS. Flujo de datos sísmicos desde la estación sísmica GUD en Guadarrama hasta el PC-ESCUELA en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.....</i>	90
3.2.	<i>Hardware compuesto por ordenador, teclado y monitor, instalados en el laboratorio de Física de la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.....</i>	91
3.3.	<i>Interfaz del gestor de correo electrónico Evolution instalado y configurado en el ordenador PC-ESCUELA.....</i>	92
3.4.	<i>Diagrama de bloques del flujo de datos sísmicos desde la estación GUD hasta PC-ESCUELA, y su relación con las aplicaciones Drumplot y Scream para la monitorización de la señal sísmica en tiempo real.....</i>	94
3.5.	<i>Interfaz de la aplicación Drumplot. Monitorización en tiempo real de la señal sísmica detectada y registrada por la estación de Guadarrama.....</i>	97
3.6.	<i>Esquema de la configuración “Client Pull” en la petición y transmisión de datos sísmicos entre el cliente (Scream) instalado en PC-ESCUELA en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía y el servidor (centro de recepción de datos en la sede del IGN).....</i>	98
3.7.	<i>Principales herramientas de tratamiento y visualización de la señal monitorizada en Scream.....</i>	100
3.8.	<i>Ejemplo de monitorización en Scream de la señal sísmica detectada ante la ocurrencia de un terremoto, donde ha sido seleccionada una escala de amplitud adecuada que permite visualizar todo su rango dinámico sin que se produzca una saturación.....</i>	101
3.9.	<i>Ejemplo de monitorización en Scream de la señal sísmica en tiempo real detectada por las tres componentes del sensor de la estación de Guadarrama, correspondiente al evento 1144088 en el SW del Cabo San Vicente de magnitud 4,5 mb(V-C), el día 21 de Mayo de 2012. Se representa don un zoom horizontal adecuado que permite visualizar gran parte del rango temporal del evento.....</i>	101
3.10.	<i>Ejemplo de medidas temporales y de amplitud de la señal sísmica pausada, mediante el uso de las herramientas de cursor en Scream.....</i>	102
4.1.	<i>Ejemplo de un mensaje de correo contenido en el fichero que se envía de forma automática por e-mail a la cuenta de correo terremoto@topografia.upm.es desde la sede central del IGN, que contiene en este caso la información relativa a una alerta del telesismo ign2012rvwy, ocurrido en las Islas Kuriles (Rusia) el día 11 de Septiembre de 2012 a las 01:20:20 horas. El mensaje será rastreado línea por línea para la captura de los datos del evento.....</i>	105
4.2.	<i>Diagrama de bloques que representa la gestión y tratamiento de los datos sísmicos que se lleva a cabo mediante la aplicación “saco”, a partir de su entrada en la bandeja de entrada de la cuenta de correo terremoto@topografia.es.....</i>	110
4.3.	<i>Esquema que muestra las aplicaciones que se ejecutan mediante la aplicación “saco”, los nombres de las imágenes que generan en el directorio /DIRSAL, las cuales son copiadas posteriormente al directorio /DIRDISPLAY para que puedan ser visualizadas en última instancia, de forma automática e instantánea, en la Unidad de Visualización de datos sísmicos de Monitor Sísmico Interactivo.....</i>	111
4.4.	<i>Esquema que representa cada uno de los grupos de imágenes generadas por medio de las distintas aplicaciones de dibujo. Estas imágenes se mostrarán en cada una de las áreas (I a IV) de la Unidad de Visualización de datos sísmicos.....</i>	112
4.5.	<i>Diagrama de bloques de la confección del mapa de sismicidad en la península Ibérica, a partir del fichero LISTADO_PROXIMOS y por medio de la aplicación “mapasis.gmt” desarrollada con código GMT, que representa los eventos y alertas de sismos próximos de magnitud mayor de 3,5 grados, revisadas y ocurridas en los últimos 30 días.....</i>	119
4.6.	<i>Imagen PostScript del mapa de sismos próximos, confeccionada mediante la aplicación “mapasis.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar la sismicidad en la península Ibérica y zonas de actividad sísmica próximas en cuasi tiempo real.....</i>	121

4.7.	<i>Diagrama de bloques de la confección del mapa de sismicidad en el mundo, a partir del fichero LISTADO_LEJANOS y por medio de la aplicación mundosis.gmt” desarrollada con código GMT, que representa los eventos y alertas de sismos lejanos de magnitud mayor de 5,5 grados, revisadas y ocurridas en los últimos 30 días.....</i>	123
4.8.	<i>Imagen PostScript del mapa de sismos lejanos, confeccionada mediante la aplicación “mundosis.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar la sismicidad mundial en cuasi tiempo real.....</i>	125
4.9.	<i>Imagen PostScript del mapa de detalle de alerta sísmica de un sismo próximo en proyección Mercator, confeccionada mediante la aplicación “mapa_al_prox.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar la localización del epicentro de la última alerta de un sismo próximo en cuasi tiempo real, concretamente el terremoto 1142581 de magnitud 3,7 mb al sur del Cabo de San Vicente.</i>	127
4.10.	<i>Imagen PostScript del mapa de detalle de alerta sísmica de un sismo lejano en proyección Winkel Tripel, confeccionada mediante la aplicación “mapa_al_lej.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar la localización del epicentro de la última alerta de un sismo lejano en cuasi tiempo real, concretamente el terremoto ign2012rvwy de magnitud 5,9 Mw mB en las Islas Kuriles.....</i>	127
4.11.	<i>Imagen que muestra el directorio donde se almacenan de forma automática los ficheros de datos sísmico, de una hora de duración y en formato SAC, correspondientes en este caso a la componente Este-Oeste (e) de movimiento.....</i>	130
4.12.	<i>Imagen PostScript del sismograma digital de tres componentes, confeccionada mediante la aplicación “segmentar_lejano” en SAC, que permite visualizar la forma de onda del telesismo ign2012tfsr, de magnitud 7,2 Mw mB y profundidad 175 km en Colombia, registrado por la estación GUD el día 30 de Septiembre de 2012 a las 16:31:37 horas.....</i>	133
4.13.	<i>Ilustración que muestra el proceso seguido para definir la ventana temporal que abarca el segmento, mediante el programa “segmentar” en SAC.....</i>	135
4.14.	<i>Ajuste polinómico de grado 3 entre los valores de distancia epicentral (°) y tiempos de recorrido de ondas P (segundos) consultados en las tablas Herrin.....</i>	138
4.15.	<i>Aproximación esférica de la Tierra y representación del triángulo esférico para un caso general, formado por los vértices que representan la posición geográfica del Polo Norte, del epicentro del terremoto y de la estación sísmica de registro GUD.....</i>	138
4.16.	<i>Curvas de respuesta nominal en amplitud y fase del sensor de la estación GUD.....</i>	141
4.17.	<i>Imagen PostScript de la película animada que recrea la construcción de la forma de onda correspondiente a la componente vertical de movimiento confeccionada mediante la aplicación “peli_lej” en SAC, a partir del sismograma digital construido previamente en la segmentación. La forma de onda visualizada se corresponde con la construcción de la componente vertical del telesismo ign2012tfsr, de magnitud 7,2 Mw mB y profundidad 175 km en Colombia, registrado por la estación GUD el día 30 de Septiembre de 2012 a las 16:31:37 horas.....</i>	143
4.18.	<i>Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área dedicada al Tiempo Real, e incluye la monitorización de la señal sísmica registrada por la estación GUD mediante las aplicaciones Scream y Drumplot.....</i>	147
4.19.	<i>Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área I dedicada a la sismicidad próxima en cuasi tiempo real, e incluye el mapa de sismicidad de la península Ibérica y el listado de los terremotos próximos de magnitud por encima de los 3,5 grados que han sido localizados en los 30 últimos días representados sobre él.....</i>	147
4.20.	<i>Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área II dedicada a los telesismos en cuasi tiempo real, e incluye el mapa de sismicidad mundial y el listado de los terremotos lejanos de magnitud por encima de los 5,5 grados que han sido localizados en los 30 últimos días representados sobre él.....</i>	148

4.21.	<i>Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área III dedicada a la última alerta sísmica en cuasi tiempo real, tanto próxima como lejana, e incluye el mapa de sismicidad de detalle, el listado con la información del terremoto, el registro gráfico (sismograma digital de tres componentes) y la película animada de la componente vertical (z). Se representa la alerta del terremoto ign2012rcrd de magnitud 8,1 Mw mB, ocurrido el día 31 de Agosto de 2012 en la región de las Islas Filipinas.....</i>	148
4.22.	<i>Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área IV dedicada al terremoto solicitado por el usuario que interactúa con la Unidad de Visualización, e incluye el mapa de sismicidad de detalle, el listado con la información del terremoto, el registro gráfico (sismograma digital de tres componentes) y la película animada de la componente vertical (z). Se representa el terremoto ign2012tfsr de magnitud 7,2 Mw mB, ocurrido el día 30 de Septiembre de 2012 a las 16:31:37 horas en Colombia.....</i>	149
4.23.	<i>Fotografía que muestra en el monitor el Área III de la Unidad de Visualización de datos sísmicos, que se corresponde con la página WEB que informa de los datos de la última alerta sísmica de un terremoto próximo o lejano, como en este caso concreto.....</i>	150
4.24.	<i>Imagen en forma de aspa roja con texto “sin datos” superpuesta a la imagen del anterior terremoto seleccionado por un usuario en el área IV de la Unidad de Visualización, la cual advierte que debido a una falta de datos sísmicos no es posible la construcción y visualización de las imágenes del segmento y de la película animada correspondientes al último terremoto seleccionado. En este caso, únicamente se muestran la localización epicentral en el mapa de detalle y la tira de registro con la información de los datos del terremoto ign2012rxax ocurrido el día 11 de Septiembre de 2012 a las 16:36:52 horas.....</i>	151
4.25.	<i>Imagen con texto “en construcción” superpuesta a las imágenes del segmento y de la película, correspondientes a la anterior alerta sísmica de un terremoto en el área III Unidad de Visualización, que advierte al usuario que las imágenes del segmento y la película animada de la última alerta sísmica del terremoto están en proceso de construcción. Se visualizará durante el transcurso de las dos horas de retraso programado antes de lanzar la ejecución de las aplicaciones que construyen el segmento y la película animada. En este caso, únicamente se muestran la localización epicentral en el mapa de detalle y la tira de registro con la información de los datos de la última alerta del terremoto ign2012rcrd de magnitud 8,1 Mw mB, ocurrido el día 31 de Agosto de 2012 a las 12:47:37 horas en las Islas Filipinas.....</i>	152

LISTA DE TABLAS

1.1.	<i>Lista de museos que acogieron la exposición itinerante de datos sísmicos en tiempo real, iniciada en el Museo de la Ciencia del Instituto Frankling en Philadelphia, con datos de asistencia anual.....</i>	18
1.2.	<i>Lista de museo que acogieron la pantalla “La Tierra en Movimiento”, creado conjuntamente por USGS e IRIS.....</i>	20
1.3.	<i>Tabla de vulnerabilidad empleada en la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98).....</i>	44
2.1.	<i>Coordenadas geográficas donde se ubica la estación GUD en Guadarrama (Madrid).....</i>	67
4.1.	<i>Imagen PostScript del listado de telesismos, confeccionada mediante la aplicación “tabla_listado_lejanos.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar tanto el momento de ocurrencia como los parámetros de localización y tamaño de los terremotos de magnitud a partir de 5,5 grados representados en el mapa de sismicidad mundial. En este listado en concreto aparecen los telesismos ocurridos entre el 20/05/2012 y el 19/06/2012.....</i>	128
4.2.	<i>Datos de distancia epicentral (°) y tiempo de recorrido (segundos) de ondas P según Herrin (1968).....</i>	136
4.3.	<i>Ficheros de la función de respuesta en velocidad del sensor de la estación GUD. De izquierda a derecha: componentes E, N y Z.....</i>	140

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivos la monitorización en tiempo real de la actividad sísmica, tanto próxima como lejana, a partir de los datos sísmicos registrados por una estación de banda ancha, y el desarrollo de un sistema de difusión interactiva de información actualizada de terremotos, destinado al público general. Ambas fuentes de información se mostrarán a través de una Unidad de Visualización denominada “Monitor Sísmico Interactivo”.

El registro de los datos sísmicos se realiza utilizando el sensor de tres componentes de la estación sísmica GUD, perteneciente a la Red Digital de Banda Ancha y transmisión digital del Instituto Geográfico Nacional, instalada en la Basílica del Valle de los Caídos, en la localidad de Guadarrama (Madrid). En la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía se ha instalado un ordenador con conexión a Internet, para la recepción y almacenamiento de los datos, y los programas Scream y Drumplot desarrollados por Guralp, necesarios para la monitorización de la señal sísmica en tiempo real. A partir de estos datos, mediante aplicaciones desarrolladas bajo programación Linux y haciendo uso de las herramientas que ofrece el software SAC (Seismic Analysis Code), se genera además un registro gráfico y una película animada de dicha segmentación para cada evento.

Se ha configurado un servidor de correo y una cuenta para la recepción de dos tipos de mensajes de correo, enviados desde la sede central del Instituto Geográfico Nacional, con la información de los eventos registrados por GUD una vez revisados:

- Mensajes enviados diariamente, con un listado de eventos ocurridos en los 30 últimos días.
- Mensajes con la información en cuasi tiempo real de la última alerta sísmica.

Se ha desarrollado el programa “saco” para la gestión del correo recibido que analiza la información sísmica, la almacena en ficheros y ejecuta sobre ellos las aplicaciones de dibujo. Estas aplicaciones han sido previamente desarrolladas bajo programación Linux y software GMT (Generic Mapping Tools), y a partir de ellas se generan automáticamente las distintas imágenes que se visualizan en el Monitor Sísmico: un mapa de sismicidad próxima en la península Ibérica, un mapa de sismicidad lejana en el mundo, un mapa de detalle para localizar y representar la última alerta generada, los listados con la información de los eventos representados en los mapas, los registros gráficos y las películas animadas de dichos sismogramas.

Monitor Sísmico Interactivo ha sido desarrollado para ofrecer además la posibilidad de interactuar con la Unidad de Visualización: se ha creado una base de datos para uso científico donde se almacenan todos los eventos registrados por GUD. Así el usuario puede realizar una petición, a través del envío de un mensaje de correo, que le permite visualizar de forma instantánea las imágenes que muestran la información de cualquier terremoto de su interés.

ABSTRACT

This study is aimed at real-time monitoring of both near and distant seismic activity from the seismic data recorded by a broadband seismic station, and the development of an interactive broadcast system of updated information of earthquakes, for the general public. Both sources of information are displayed through a display unit called "Interactive Seismic Monitor".

The seismic data recording is carried out by using the three-component sensor of the GUD seismic station, which belongs to the Digital Network Broadband and digital broadcast of the National Geographic Institute, housed in the Basilica of The Valley of the Fallen, in the town of Guadarrama (Madrid). A computer with Internet connection has been installed in E.T.S.I. Surveying, Geodesy and Cartography for receiving and storing data, together with Scream and Drumplot programs, developed by Guralp, which are necessary for monitoring the real time seismic signal. Based on the data collected, through programming applications developed under Linux system and using the software tools provided by the SAC (Seismic Analysis Code), a chart recorder and an animated gif image of the segmentation for each event are also generated.

A mail server and a mail account have been configured for the receipt of two types of email messages, sent from the National Geographic Institute head office, with the information of the events recorded by GUD after being reviewed:

- Messages sent daily, providing a list of events in the past 30 days.
- Messages containing information on near real-time seismic of the last seismic alert.

A program called "saco" has also been developed for handling mail received that analyzes the seismic data, which stores it in files and runs drawing applications on them. These applications have been previously developed under Linux system and software programming GMT (Generic Mapping Tools), and from them different images that are displayed on the Seismic Monitor are automatically generated: a near seismicity Iberian peninsula map, a distant seismicity world map, a detailed map to locate and represent the last seismic alert generated, the lists with the information of the events depicted in the maps, together with the charts and the animated gif image of such seismograms.

Interactive Seismic Monitor has been developed to offer any user the possibility of interacting with the display unit: a database has been created for scientific use which stores all the events recorded by GUD. Thus, any user could make a request, by sending an e-mail that allows them to view instantly all the images showing the information of any earthquake of interest on the display unit

OBJETIVOS

El trabajo desarrollado en el presente Proyecto Final de Carrera tiene dos objetivos claramente diferenciados:

- La monitorización en tiempo real de la actividad sísmica, tanto próxima como lejana, a partir de los datos sísmicos registrados por la estación de banda ancha denominada internacionalmente GUD, que se encuentra instalada en una cueva bajo la capilla de la Basílica del Valle de los Caídos, en la localidad de Guadarrama (Madrid).
- El desarrollo de un sistema de difusión interactiva de información actualizada de terremotos destinado al público general, y la creación de una base de datos de uso científico.

Ambas fuentes de información se mostrarán en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía, a través de una Unidad de Visualización denominada “Monitor Sísmico Interactivo”.

La idea surge como consecuencia del deseo de querer implementar un sistema de monitorización e información de terremotos como herramienta de divulgación científica y destinada al público general, tomando como referencia sistemas ya implementados y con gran éxito de aplicación.

1. INTRODUCCIÓN

Como en otros campos de la actividad cartográfica, dentro del área general llamada "tecnologías de la información", la divulgación de los estudios de la sismicidad ha sufrido rápidos cambios centrados en el aumento de aplicaciones de los sensores, enfocados a aspectos de comunicación e información, con el objetivo de acercar al público general una descripción científica de los fenómenos naturales del interior de la Tierra.

Este trabajo tiene por objeto la transmisión, monitorización en tiempo real, adquisición, análisis y difusión de los datos registrados de forma continua por el sensor de una estación sísmica de banda ancha y tres componentes, desarrollando para lo cual un sistema de información de terremotos interactivo destinado al público general, además de generar una base de datos para uso científico en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.

En un primer momento se decidió llevar a cabo estas tareas a partir de los datos sísmicos registrados por una estación sísmica de corto periodo perteneciente al Instituto Geográfico Nacional, cedida a la Universidad Politécnica de Madrid, e instalada en la Residencia de la UPM "Lucas Olazábal" en la localidad de Cercedilla (Madrid). Sin embargo, después de visitar las instalaciones se detectó una avería en varios de sus componentes, concretamente en el conversor analógico-digital de la señal y en el receptor GPS. Tras la visita de chequeo a la estación sísmica se valoró el tipo de avería y se dedujo que su reparación y reinstalación supondría una demora en el tiempo que retrasaría considerablemente la realización del presente proyecto final de carrera. Así pues, se tomó la decisión de descartar temporalmente dicha estación y utilizar los datos digitales registrados por el sensor de una estación sísmica de transmisión digital GPRS/UMTS con sismómetro de banda ancha, perteneciente a la Red de Alerta Sísmica del Instituto Geográfico Nacional e instalada en Valle de los Caídos en la localidad de Guadarrama (Madrid). No obstante, la idea de la reparación y puesta en marcha de la estación sísmica de corto periodo en Cercedilla ha sido aprobada, corriendo con los gastos el Instituto Geográfico Nacional, con el fin de que en un futuro se pueda aprovechar la señal registrada por dicha estación para el desarrollo del presente trabajo, sustituyendo a la señal registrada por la estación sísmica de banda ancha en Guadarrama.

Es necesario distinguir entre los sistemas de monitorización e información sísmica destinados al público general, cuyo desarrollo es el objetivo del presente trabajo, y los sistemas de monitorización para centros de alerta, cuyo cometido es dar información rápida en caso de terremoto a los organismos encargados de la gestión de emergencias y suministrar datos de calidad a la comunidad científica.

La idea que se desarrolla en el presente trabajo surge como consecuencia del deseo de querer implementar un sistema de monitorización e información de terremotos como herramienta de divulgación científica y destinado al público general, tomando como referencia sistemas ya implementados y con gran éxito de aplicación, como el “Monitor Sísmico” desarrollado por IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) en su portal WEB <http://www.iris.edu/>, o las exposiciones públicas de datos sísmicos en tiempo real exhibidas en los museos más importantes de los Estados Unidos, desarrolladas principalmente por IRIS <http://www.iris.edu/> y por USGS (United States Geological Survey) y su Laboratorio Sismológico en Albuquerque. En España, también podemos encontrar museos donde se presentan exposiciones sobre las Ciencias de la Tierra, relacionadas con el ámbito de la sismología, donde destacan el Museo Nacional de Ciencias Naturales en Madrid <http://www.mncn.csic.es/>, el Museo de la Ciencia y el Cosmos en Tenerife <http://www.museosdetenerife.org/> o CosmoCaixa en Barcelona. Se describen a continuación los principales sistemas de monitorización e información de terremotos destinados al público general, que han inspirado el desarrollo del presente trabajo:

1.1. SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN SÍSMICA DESTINADOS AL PÚBLICO EN GENERAL

1.1.1. Sistemas de Información de Terremotos en los EE.UU.

1.1.1.1. IRIS

Fundada en 1984 con el apoyo de la NSF (National Science Foundation), IRIS es un consorcio de más de 100 universidades norteamericanas orientadas a la operatividad de instalaciones científicas para la adquisición, gestión y distribución de datos sismológicos, operando a través de una red global de más de 125 estaciones sísmicas. Los programas de IRIS contribuyen a la investigación académico-científica, a mitigar los peligros sísmicos, la educación y la verificación del Tratado de Prohibición

Completa de Ensayos Nucleares. Con su sede principal ubicada en Washington DC, IRIS es una organización sin ánimo de lucro cuyo apoyo económico viene de la NSF, otras agencias federales, universidades y también fundaciones privadas.

En 1998 IRIS incorpora E&O (Education and Outreach Program), el “Programa de Educación y Divulgación” diseñado para integrar la investigación y la educación, promoviendo que los datos relacionados con las ciencias de la Tierra sean accesibles a las instituciones educativas y todo tipo de público interesado, y no sólo a sismólogos e investigadores, a través de una variedad de programas innovadores. Uno de los desarrollos del programa IRIS de mayor interés en el campo de la sismología es una aplicación implementada en su página web que permite monitorizar, consultar y estudiar datos sísmicos a nivel mundial, denominada “Monitor Sísmico”.

1.1.1.1.1. Monitor Sísmico

Cualquier internauta puede acceder al portal WEB <http://www.iris.edu> e interactuar con la aplicación “Monitor Sísmico” desarrollada por IRIS (Figura 1.1). “Monitor Sísmico” consiste en una pantalla interactiva de información de la sismicidad global, permitiendo a los usuarios visualizar en tiempo real y sobre la superficie de un mapa mundial la localización de los epicentros de los últimos terremotos ocurridos.

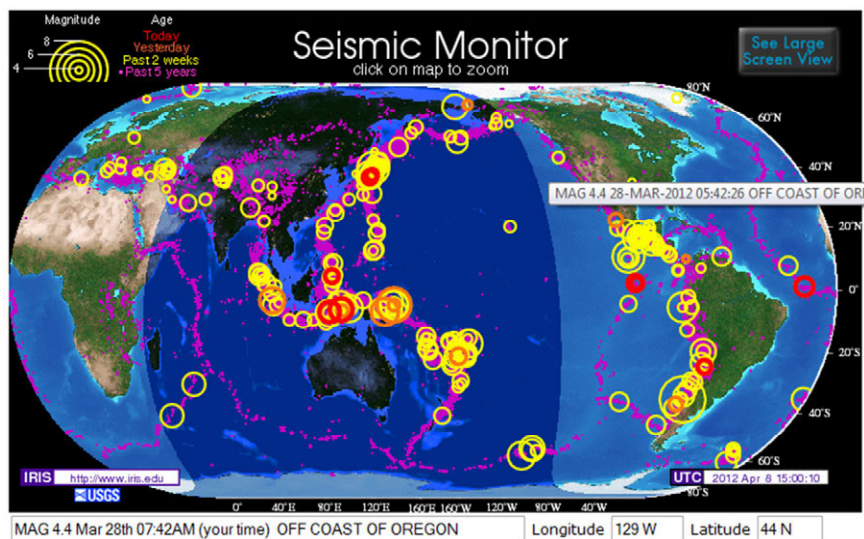


Figura 1.1: Monitor Sísmico desarrollado por IRIS.

Para representar la posición de los epicentros se utiliza la variable tamaño, mediante círculos de un radio proporcional a la magnitud del terremoto, y para aportar

información relativa al tiempo de ocurrencia se utiliza la variable color. Situando el puntero sobre cada uno de los terremotos se obtiene información acerca de su posición geográfica y magnitud. La imagen mostrada se actualiza automáticamente cada diez minutos para reflejar los nuevos terremotos ocurridos. Al pinchar con el puntero sobre alguna región de interés se obtiene una ampliación de la imagen en una nueva pantalla (Figura 1.2), donde se representan los terremotos ocurridos mediante círculos y la localización de las estaciones sísmicas que lo registran mediante triángulos. En esta nueva imagen es posible seleccionar un determinado círculo para desplegar una lista con los terremotos ocurridos en esa región en las dos últimas semanas (Figura 1.3), o bien seleccionar un determinado triángulo para visualizar la información relativa a la estación sísmica correspondiente (Figura 1.4).

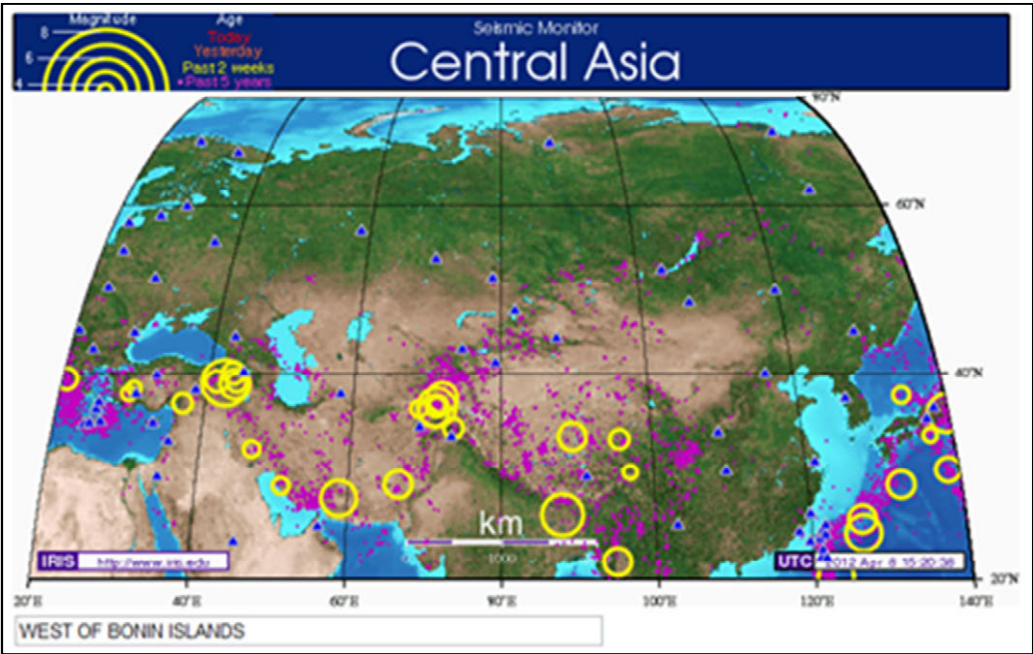


Figura 1.2: Imagen ampliada de una región de interés en Monitor Sísmico IRIS.


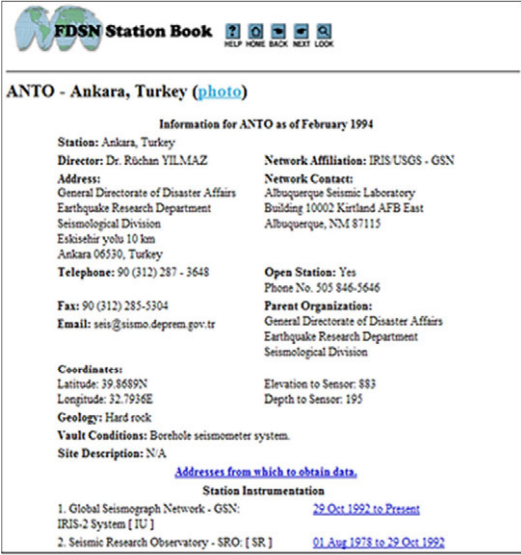
Last 2 Weeks of Earthquakes					
(within 10 degrees of LON=58.851, LAT=27.657)					
DATE links are into the IRIS WILBER system where you can see seismograms and request datasets.					
DATE and TIME (UTC)	LAT-ITUDE	LONG-ITUDE	MAG-NITUDE	DEPTH km	REGION
28-MAR-2012 03:19:22	28.87	66.45	4.5	3.7	PAKISTAN
28-MAR-2012 00:39:49	36.35	68.76	4.1	43.8	HINDU KUSH REGION, AFGHANISTAN
26-MAR-2012 00:06:19	27.74	58.85	4.9	79.3	SOUTHERN IRAN
25-MAR-2012 12:15:00	28.78	51.24	4.1	10.9	SOUTHERN IRAN
4 database rows displayed.					
Earthquake data courtesy of 					

Figura 1.3: Lista de terremotos ocurridos en una determinada región en las dos últimas semanas en Monitor Sísmico IRIS.



FDSN Station Book [HELP](#) [HOME](#) [BACK](#) [NEXT](#) [LOOK](#)

ANTO - Ankara, Turkey (photo)

Information for ANTO as of February 1994

Station: Ankara, Turkey	Network Affiliation: IRIS/USGS - GSN
Director: Dr. Rüçhan YILMAZ	Network Contact:
Address:	Albuquerque Seismic Laboratory
General Directorate of Disaster Affairs	Building 10002 Kirtland AFB East
Earthquake Research Department	Albuquerque, NM 87115
Seismological Division	
Eskişehir yolu 10 km	
Ankara 06530, Turkey	
Telephone: 90 (312) 287 - 3648	Open Station: Yes
	Phone No. 505 846-5646
Fax: 90 (312) 285-5304	Parent Organization:
Email: seis@sismo.deprem.gov.tr	General Directorate of Disaster Affairs
	Earthquake Research Department
	Seismological Division
Coordinates:	Elevation to Sensor: 883
Latitude: 39.8689N	Depth to Sensor: 195
Longitude: 32.7936E	
Geology: Hard rock	
Vault Conditions: Borehole seismometer system.	
Site Description: N/A	

[Addresses from which to obtain data.](#)

Station Instrumentation

1. Global Seismograph Network - GSN: [29 Oct 1992 to Present](#)
2. Seismic Research Observatory - SRO: [SR] [01 Aug 1978 to 29 Oct 1992](#)

Figura 1.4: Información sobre una estación sísmica en la aplicación Monitor Sísmico IRIS.

A su vez, en algunos de los terremotos listados se permite la opción de pinchar sobre su fecha con el fin de desplegar una nueva ventana en la que se muestra una lista con las estaciones sísmicas que han registrado dicho evento, ordenadas por nombre o distancia al epicentro (Figura 1.5). Si se pincha sobre las estaciones se visualizará el sismograma correspondiente (Figura 1.6)

Event: 2012/04/07 11:58:07.6
Description: NEW BRITAIN REGION, P.N.G. Source: SPYDER®

Welcome, Seismic Monitor user!

Click on the station names below to view seismograms.
 Attn WILBER users: [dataset requests](#) can be made [here](#).

Responding Stations, sorted by

PMG (3° or ~330 km)	RABL (3° or ~330 km)	MANU (5° or ~550 km)	COEN (9° or ~990 km)
MTSU (12° or ~1320 km)	CTAO (13° or ~1430 km)	CTA (13° or ~1430 km)	RK2S (16° or ~1760 km)
QIS (16° or ~1760 km)	PATS (16° or ~1760 km)	GD1S (17° or ~1870 km)	EIDS (18° or ~1980 km)
WB8 (19° or ~2090 km)	WR8 (19° or ~2090 km)	WR9 (19° or ~2090 km)	WB7 (19° or ~2090 km)
WR7 (19° or ~2090 km)	WB5 (19° or ~2090 km)	MTN (19° or ~2090 km)	WB4 (19° or ~2090 km)
DPH (19° or ~2090 km)	WB9 (19° or ~2090 km)	WR0 (19° or ~2090 km)	WB0 (19° or ~2090 km)
WB1 (19° or ~2090 km)	WR2 (19° or ~2090 km)	WC4 (19° or ~2090 km)	WC1 (19° or ~2090 km)
WR3 (19° or ~2090 km)	WC2 (19° or ~2090 km)	WB2 (19° or ~2090 km)	WR4 (19° or ~2090 km)
RMQ (19° or ~2090 km)	GUMO (20° or ~2200 km)	QLP (20° or ~2200 km)	TW1H (20° or ~2200 km)

Figura 1.5: Lista de estaciones sísmicas que han registrado un determinado terremoto en la aplicación Monitor Sísmico IRIS.

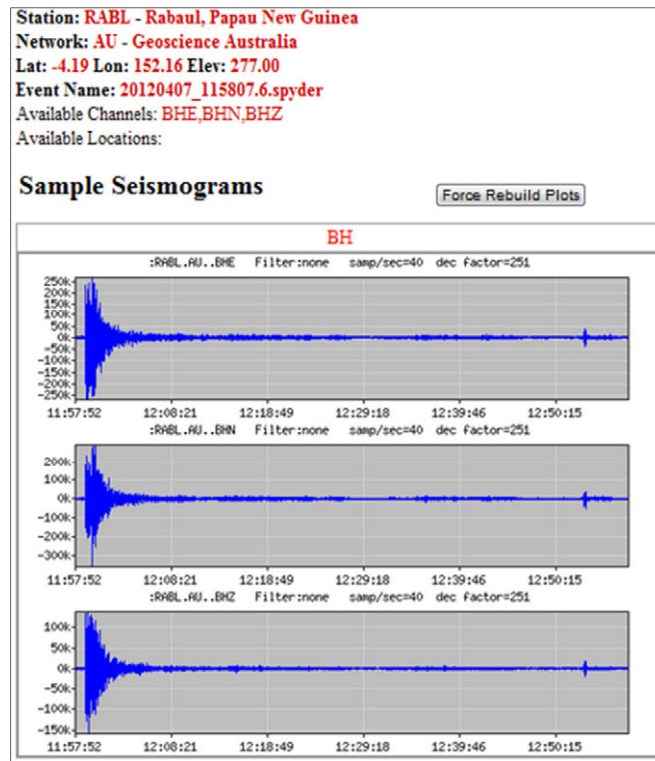


Figura 1.6: Sismograma correspondiente a la estación sísmica RABL obtenido en la aplicación Monitor Sísmico IRIS.

1.1.1.2. USGS

Otro de los desarrollos integrados en el programa IRIS son las exposiciones de datos sísmicos exhibidas en los museos más importantes de los Estados Unidos, en colaboración con USGS (Servicio Geológico de EE.UU.) y el Museo de Historia Natural y Ciencia de Nuevo México, con financiación a cargo de la NSF.

1.1.1.2.1. Exhibición en museos

En el año 1998, el Museo de Ciencia del Instituto Franklin en Philadelphia albergó una de las primeras exhibiciones públicas de datos sísmicos en tiempo real. Posteriormente dicha exposición estuvo de gira hasta el año 2005, y durante ese período de tiempo fue exhibida en los museos más importantes de los Estados Unidos (Tabla 1.1). El objetivo principal que se perseguía era mostrar la frecuencia y la distribución global de los terremotos que están sucediendo en el mundo. La asistencia total a estos 12 museos fue superior a 5 millones de personas, lo que refleja el gran éxito e interés despertado entre la población.

Año	Museo	Asistencia anual [personas]
1998	Museo de Ciencia del Instituto Franklin Philadelphia, PA	450.000
1998	California, el Museo de Ciencia e Industria Los Angeles, CA	500.000
1999	Centro de Ciencia e Industria Columbus, OH	350.000
1999	Fort Worth Museum of Science and History Fort Worth, TX	600.000
2000	St. Paul Museo de la Ciencia de Minnesota St. Paul, MN	375.000
2000	Boston Museo de la Ciencia Boston, MA	550.000
2001	EE.UU. Space and Rocket Center Huntsville, AL	400.000
2002	Denver Museum of Nature and Science Denver, CO	500.000
2002	Carolina del Norte, Museo de Ciencias Naturales Raleigh, Carolina del Norte	450.000
2003	Moody Gardens Galveston, TX	500.000
2004	Museo de Ciencia del Instituto Franklin Philadelphia, PA	450.000
2004	Cincinnati Museum Center Cincinnati, OH	25.000

Tabla 1.1: Lista de museos que acogieron la exposición itinerante de datos sísmicos en tiempo real, iniciada en el Museo de Ciencia del Instituto Franklin en Philadelphia, con datos de asistencia anual.

El enfoque de los programas del museo ha ido evolucionando, desde un número reducido de grandes pantallas en los principales museos, y más recientemente, a través de pantallas más pequeñas y versátiles. A continuación se muestran algunos de los elementos de comunicación que se han desarrollado y han sido exhibidos:

- Un monitor de gran formato muestra la localización de los terremotos recientes en tiempo real y se actualiza automáticamente cada 15 minutos (Figura 1.7). Las señales registradas en tres lugares diferentes del mundo son transmitidas en tiempo real al museo y registradas en un tambor. Se completa la información con paneles de texto e ilustraciones explicativas sobre la estructura interna de la Tierra y la causa de los terremotos.



Figura 1.7: Monitor de información de terremotos en tiempo real y registrador de tambor desarrollado por USGS.

- Un sensor instalado en el suelo frente a una pantalla permite a los visitantes crear su propio terremoto mediante un salto y observar el registro gráfico resultante en el tambor registrador (Figura 1.8)



Figura 1.8: Sensor sísmico interactivo en el suelo del museo, desarrollado por USGS.

1.1.1.3. USGS – IRIS

En el año 1990 fue desarrollado conjuntamente por el Laboratorio Sismológico de Albuquerque (USGS), por el Nuevo Museo de Historia Natural y Ciencia de México y por IRIS, el sistema de información sísmica titulado “La Tierra en Movimiento” (Figura 1.9). Dicho sistema fue solicitado por el Museo de Ciencia del Instituto Franklin en Philadelphia para su inclusión en la exposición itinerante conocida como “Poderes de la Naturaleza”, y fue visitada por más de 5 millones de personas en seis de los mayores museos de ciencias en todo el país (Tabla 1.2):

Fecha	Museo	Asistencia anual
Abril 1998	Franklin Institute Science Museum Philadelphia, PA.	450.000
Octubre 1998	California Museum of Science and Industry Los Angeles, CA.	1.000.000
Abril 1999	Center of Science and Industry Columbus, OH	350.000
Octubre 1999	Boston Museum of Science Boston, MA	550.000
Abril 2000	St. Paul Science Museum of Minn St. Paul, MN.	375.000
Octubre 2000	Ft. Worth Museum of Science and History Ft. Worth, TX.	600.000

Abril 2001	Museum of Science and Industry Chicago, IL.	1.250.000
Octubre 2001	Franklin Institute Science Museum Philadelphia, PA.	450.000
Asistencia total.....		5.025.000

Tabla 1.2: Lista de museos que acogieron el sistema de información sísmica “La Tierra en Movimiento”, creado conjuntamente por USGS e IRIS.

Este sistema de información sísmica muestra la localización geográfica de los terremotos que han ocurrido en los últimos días en un mapa del mundo, mostrando el tiempo origen y su magnitud. Se complementa además con un mapa de fibra óptica de la Tierra que muestra las placas oceánicas, continentales, ilumina un registro histórico de 8 días de la actividad sísmica en todo el mundo de magnitud 4,5 o superior e incluye la sismicidad de los últimos cinco años. Le acompañan también una serie de láminas de texto explicativas acerca de la relación entre los patrones de sismicidad global y tectónica de placas, por qué ocurren los terremotos, la frecuencia de los terremotos, cómo se miden, qué tipo de daño pueden producir y la escala de Richter, junto con eventos familiares como explosiones para conocer la energía equivalente. La inclusión de un sensor sísmico instalado en el suelo delante del expositor “La Tierra en Movimiento” (Figura 1.10) ofrece a los visitantes la posibilidad de crear su propio terremoto al saltar, el cual se registra en un tambor registrador.

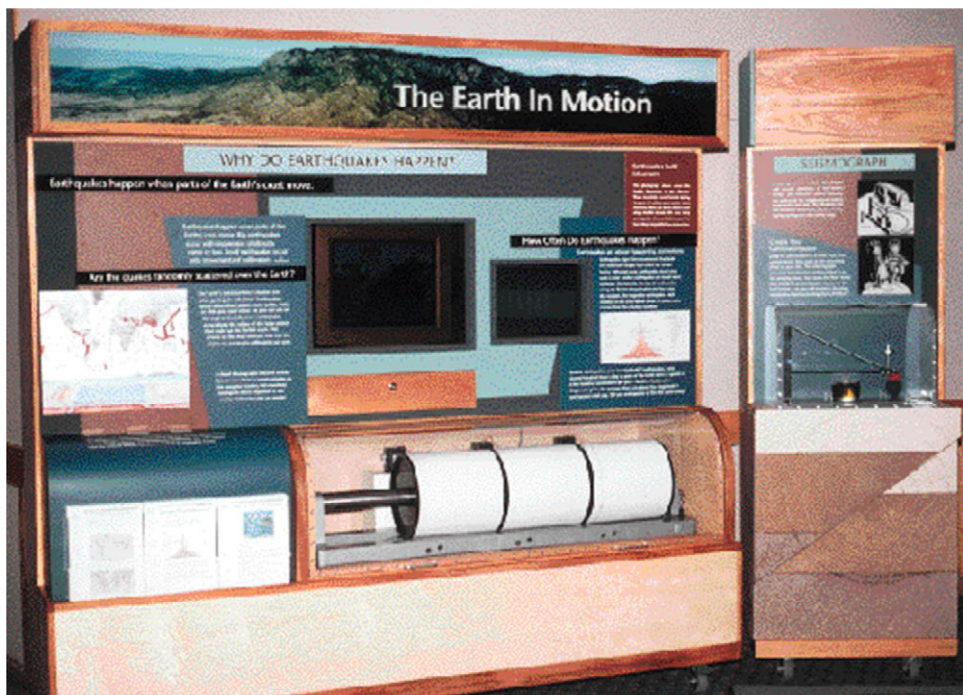


Figura 1.9: Exposición del sistema de información sísmica “La Tierra en Movimiento”

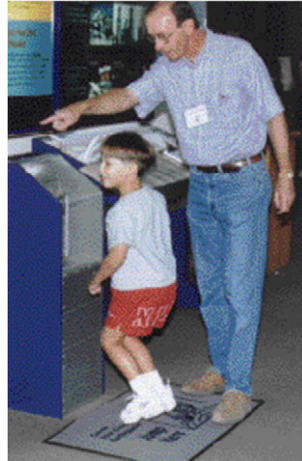


Figura 1.10: *Sensor sísmico interactivo en la exposición del sistema de información sísmica “La Tierra en Movimiento”.*

1.1.2. Sistemas de Información Sísmica en España

En España son numerosos los museos interactivos que dedican espacios para divulgar, de una manera lúdica y con gran rigor, la cultura científica al público en general. Se trata de escenarios de aprendizaje informal, donde lo importante no es sólo ver, sino manipular, de forma que los visitantes puedan entender determinados principios científicos y técnicos en un entorno multisensorial. De entre todos los museos y centros en España que ofrecen un acercamiento de las Ciencias de la Tierra al público general, destacamos los siguientes:

1.1.2.1. Museo Nacional de Ciencias Naturales

Una de las exposiciones itinerantes que ofreció el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, desde el 22 de diciembre de 2000 al 28 de abril de 2002, se tituló "Viviendo con volcanes" (Figura 1.11), y tenía como objetivo fundamental mostrar cómo se producen los procesos volcánicos y cual es su influencia en los seres humanos, así como informar acerca del trabajo que realizan los científicos en su seguimiento para conocerlos mejor y tratar de paliar en lo posible sus efectos. Fue una exposición dirigida a todas las edades y niveles de conocimiento sobre el tema, en la que se combinaron muy diferentes soportes y elementos, junto con audiovisuales, sistemas interactivos y animaciones por ordenador. Se presentó una selección de rocas volcánicas, maquetas y

otros elementos tridimensionales que permitían al visitante visualizar los fenómenos que se explicaban.



Figura 1.11: *Exposición “Viviendo con Volcanes” en el Museo de Ciencias Naturales durante los años 2000-2002.*

Para conmemorar la celebración del Día Mundial de la Tierra, el 22 de abril de 2011, el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, en su WEB <http://www.mncn.csic.es/>, anunció la organización de un programa de actividades familiares durante las vacaciones de Semana Santa, entre las que se incluyó el laboratorio terrestre “Experimentárea”. Dicho laboratorio terrestre consistía en una serie de talleres dedicados a entender mejor las causas de los terremotos, donde los participantes podían incluso hacer sus propios sismogramas. Se explicaban procesos como la subducción de las placas tectónicas, la propagación de las ondas sísmicas o el fenómeno de la licuefacción.

1.1.2.2. Museo de la Ciencia y el Cosmos

Desde que se inauguró en Mayo de 1993, el Museo de las Ciencias y el Cosmos <http://www.museosdetenerife.org/>, que pertenece al Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife (OAMC), situado en Santa Cruz-La Laguna y que cuenta con la colaboración del Instituto de Astrofísica de Canarias, ha adquirido una entidad en la que se aúnan aspectos de rigor científico con los de divertimento con la

ciencia. Este museo cuenta con una sección dedicada a las Ciencias de la Tierra, que reúne 19 módulos entre los que se encuentra uno dedicado a “Volcanes y Terremotos”.

Además, como cada año se programan los talleres de verano bajo el lema “Abierto por vacaciones”, con la finalidad de acercar al público general las leyes y principios que rigen la Naturaleza. Una de sus áreas temáticas se refiere a “Planeta Tierra”, consistente en una gran exposición acerca de la estructura de la Tierra, los volcanes y los terremotos. A través de una serie de experimentos interactivos, siguiendo las explicaciones de los paneles informativos, el visitante puede aprender cómo se comporta la Tierra ante un terremoto.

1.1.2.3. CosmoCaixa Barcelona

CosmoCaixa, el Museo de la Ciencia de la Obra Social “la Caixa” que abrió sus puertas el 25 de septiembre de 2004 en Barcelona, ocupa las instalaciones del que fue el primer Museo de la Ciencia interactivo de España, inaugurado en 1981.

CosmoCaixa ofrece una amplia programación propia de actividades educativas y de divulgación científica dirigida a todos los públicos: cursos, conferencias, jornadas, talleres, etc. Así mismo, acoge actividades organizadas en colaboración con otras instituciones. Las exposiciones temporales abordan desde temas de gran actualidad hasta temas de carácter social.

De entre todas las exposiciones temporales relacionadas con las Ciencias de la Tierra que se ofrecen periódicamente en el museo, destacamos una exposición que tuvo lugar en el año 1995 y que consistía en mostrar a los visitantes la señal sísmica de los sismógrafos del Observatorio del Ebro (Figura 1.12) en tiempo real. Este trabajo fue dirigido por el Dr. Josep Batlló, quien junto con los Ingenieros en Telecomunicaciones J. Margalef, J. y X. Compte de La Salle de Barcelona escribieron un artículo acerca del sistema de adquisición, acondicionamiento, tratamiento y transmisión de señales sísmicas, **Batlló et al. (1995)**.



Figura 1.12: Sismómetros de período corto (Benioff) y de período largo (Sprengnether) instalados a unos 7 metros de profundidad encima de pilares aislados de la estructura del edificio y contruidos sobre roca, en las instalaciones del Observatorio del Ebro en Cataluña, transmitida su señal al Museo CosmoCaixa de Barcelona .

1.2. SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN SÍSMICA PARA CENTROS DE ALERTA Y DE USO CIENTÍFICO

1.2.1. Centro Nacional de Información Sísmica

La Red Sísmica Nacional (RSN) es la entidad oficial en España que se encarga de la detección, localización y evaluación en tiempo real de los terremotos que ocurren en territorio nacional y áreas adyacentes. Ha de cumplir por tanto los cometidos de red de vigilancia sísmica y de red de estudios sísmicos. El Instituto Geográfico Nacional (IGN) opera la Red Sísmica Nacional, integrada en la Subdirección General de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales, para el cumplimiento de las funciones asignadas en el *Real Decreto 452/2012 de 5 de Marzo de 2012 por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Fomento*:

- La planificación y gestión de sistemas de detección y comunicación de los movimientos sísmicos ocurridos en territorio nacional y sus posibles efectos sobre las costas, así como la realización de trabajos y estudios sobre sismicidad y la coordinación de la normativa sismorresistente.

La información en tiempo real recibida en el centro de recepción de la RSN constituye el elemento esencial del sistema de alerta ante la ocurrencia de fenómenos sísmicos. Las estaciones sísmicas que conforman la RSN a día de hoy pueden verse reflejadas en la figura 1.13. Dicha red está formada por instrumentación de distintas características con transmisión de datos en tiempo real, interrogación telefónica u otras vías de enlace, por lo que los procedimientos de análisis no son realizados de la misma forma, aunque el producto final sea consecuencia de una recopilación general de todos los datos registrados que existen sobre el evento.

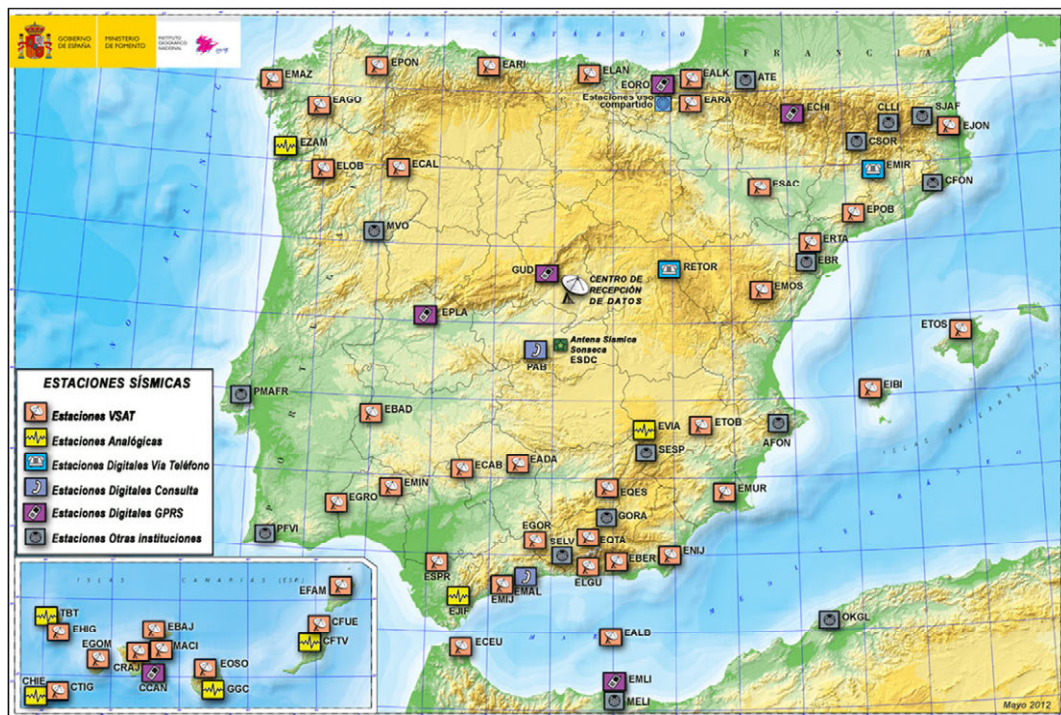


Figura 1.13: Red de estaciones sísmicas que conforman la Red Sísmica Nacional en España.

A nivel internacional en el área Euro-Mediterránea, la determinación rápida de epicentros está asignada a tres centros nodales como son el Instituto Nacional de Geofísica de Italia, el Instituto Geográfico Nacional de España y el Laboratorio de Detección Geofísica de Francia, que unidos al CESEM¹, tienen la misión de diseminar la información, realizando localizaciones y notificaciones de aquellos terremotos euro-mediterráneos de magnitud $\geq 5,5$ en la escala de Richter.

¹ **CESEM:** el Centro Sismológico Euro-Mediterráneo fue fundado en 1975 siguiendo una recomendación de la Comisión Sismológica Europea, basada en la consideración de que la región euro-mediterránea tenía una gran actividad sísmica y por ello, y para la protección de la sociedad y la evaluación del riesgo sísmico, era necesario que un gabinete científico se encargara de la determinación en casi tiempo real de los terremotos.

1.3. PARÁMETROS DE LOCALIZACIÓN Y PARÁMETROS DE TAMAÑO

Ya que una de las tareas que se desarrollan en el presente trabajo es la de mostrar, en una Unidad de Visualización y mediante mapas de sismicidad y listados, los datos de los terremotos registrados por la estación GUD, se describirán a continuación los procesos de cálculo que se llevan a cabo en la RSN para la obtención de los parámetros de localización del hipocentro y del epicentro de un terremoto. Por otro lado se describirán los parámetros de tamaño, tanto los que definen su magnitud y escala, a partir de la información en tiempo real registrada por el conjunto de estaciones sísmicas que conforman dicha red, como una definición del concepto de intensidad sísmica, haciendo hincapié en la Escala de intensidad Europea Macrosísmica EMS-98.

1.3.1. Parámetros de localización

Los terremotos tectónicos suelen ocurrir en zonas donde la concentración de esfuerzos, generados por las corrientes de convección en el manto, da lugar a movimientos de reajuste en el interior y en la superficie de la Tierra. Por este motivo estos eventos están íntimamente relacionados con la formación de fallas geológicas y comúnmente acontecen al final de un ciclo sísmico, período durante el cual se acumulan esfuerzos en el interior de la Tierra, que más tarde se liberarán repentinamente ocasionando un terremoto.

El punto interior de la Tierra donde se origina el sismo se denomina foco ó hipocentro. El punto de la superficie que se halla directamente en la vertical del hipocentro, que generalmente corresponde al área donde la sacudida de las ondas sísmicas incide con mayor intensidad, recibe el nombre de epicentro (Figura 1.14).

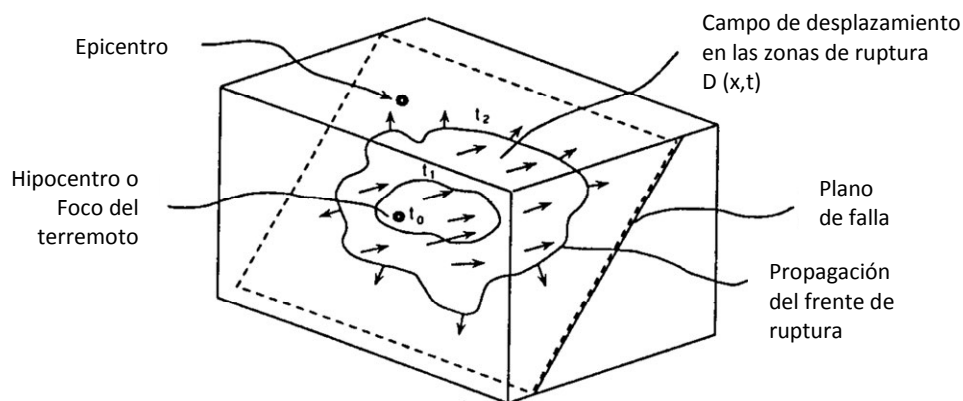


Figura 1.14: Gráfico de la ruptura en la superficie de una falla. La ruptura se propaga desde el foco sísmico, el hipocentro, por la superficie de la falla. El punto sobre la superficie en la proyección vertical del hipocentro se llama epicentro.

En primer lugar, la localización del epicentro de un terremoto podría determinarse del modo siguiente: cuando ocurre un sismo, las ondas generadas por la liberación repentina de energía en el foco o hipocentro viajan en todas direcciones y son registradas por los sismómetros que se encuentran en las estaciones sismológicas ubicadas en todo el territorio. A partir de la diferencia del tiempo de llegada entre las ondas P (ondas primarias) y S (ondas secundarias) para cada estación sísmica y del modelo de velocidades establecido, se deduce a qué distancia se encuentra el epicentro de una estación determinada. Si se traza un círculo alrededor de la estación cuyo radio es el valor obtenido anteriormente, se obtendrá una circunferencia cuyo límite sería la región probable donde ocurrió el evento. Al realizar este mismo procedimiento para otras dos estaciones se verá que las tres circunferencias cortan entre sí en un mismo punto. Es en este lugar donde se encontrará el epicentro del sismo (Figura 1.15). Este procedimiento gráfico es ideal si consideramos que el material del que está compuesta la Tierra es uniforme. Sin embargo, en la realidad esto es muy diferente ya que la tierra está compuesta por diferentes capas, y las ondas se comportan de diferente manera al atravesar los distintos medios. El cálculo de la distancia epicentral se vuelve entonces más complejo y son empleados programas informáticos y métodos numéricos para efectuar una localización de epicentros con gran precisión.

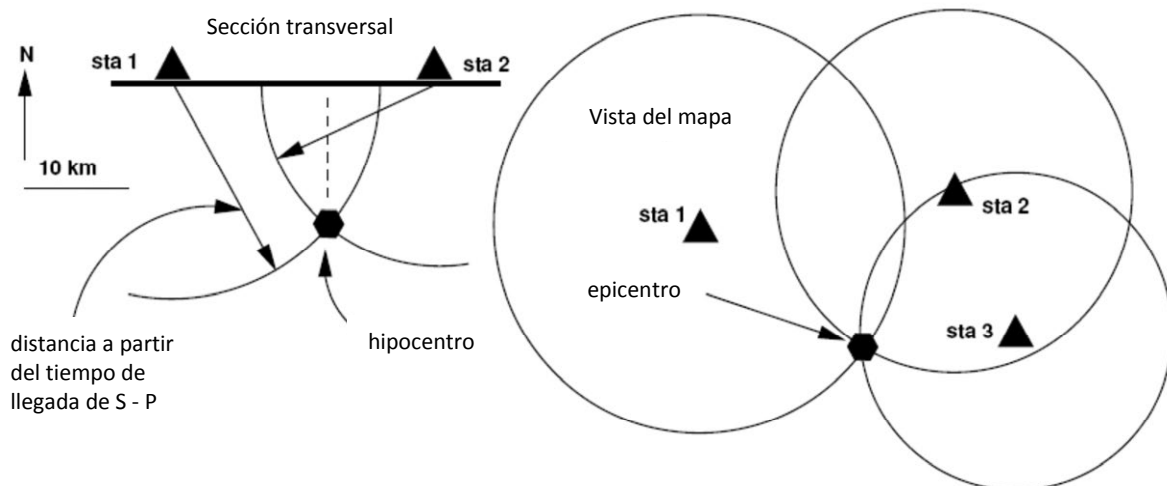


Figura 1.15: Solución gráfica para la ubicación del hipocentro y triangulación del epicentro por el método de los círculos.

En segundo lugar, la localización del hipocentro de un terremoto es uno de los problemas más antiguos de la sismología, y a pesar de ello, no es en la actualidad un problema definitivamente resuelto. Se describe a continuación el fundamento del método numérico de localización para terremotos regionales, a partir de los tiempos de llegada observados y basados en un modelo de corteza preestablecido (se suponen capas planas y paralelas sobre un medio semiinfinito): se parte de un hipocentro inicial de prueba (que suele tener las coordenadas de la estación más cercana incrementadas en una pequeña cantidad), se calculan tiempos de llegada teóricos y se comparan con los tiempos de llegada observados, obteniendo así las diferencias entre los tiempos calculados y observados. Las expresiones de los tiempos de recorrido teóricos son linealizadas, y se calculan unos incrementos a las coordenadas hipocentrales y tiempo origen que minimicen los residuos de todas las observaciones. El método más utilizado para este fin es el de los mínimos cuadrados. El proceso se repite hasta que los incrementos hipocentrales sean lo suficientemente pequeños. La determinación del hipocentro está afectada de ciertas fuentes de error que hacen en general imposible obtener la solución exacta del problema, y su precisión dependerá de la elección del modelo de corteza, los errores en las lecturas de los tiempos observados y los errores en el propio método de cálculo (proceso mínimo cuadrático, linealización de las ecuaciones de observación, etc.), **Geiger (1912)**.

1.3.1.1. Planteamiento y estudio del sistema de ecuaciones de observación, **Bravo (1994)**.

El instante de tiempo en el que llega una cierta onda sísmica a una estación receptora, se puede escribir funcionalmente como:

$$t = T(x, y, h; x_0, y_0, h_0, t_0) \quad [1]$$

Se considera un determinado sistema cartesiano dextrógiro (Figura 1.16), donde:

El eje X tiene la dirección Norte-Sur

El eje Y tiene la dirección Este-Oeste

El eje H tiene la dirección Vertical (positivo hacia el interior de la Tierra)

Sean x, y, h las coordenadas de la estación en este sistema de referencia.

Sean x_0, y_0, h_0 las coordenadas espaciales del terremoto (hipocentro)

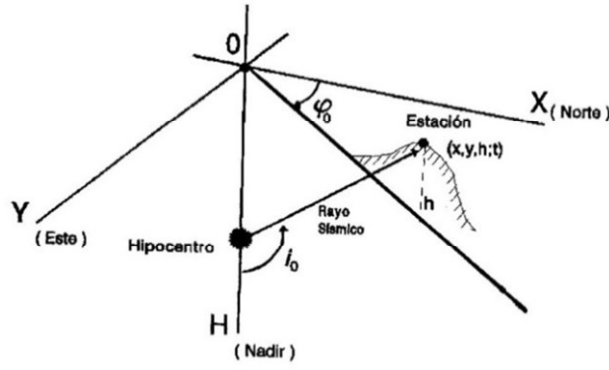


Figura 1.16: Representación esquemática del hipocentro, estación y rayo sísmico.

Pero para la localización del evento sísmico es necesario que introduzcamos en nuestro sistema de referencia una cuarta coordenada que nos indique en qué instante de tiempo ocurrió el terremoto, conocida como “tiempo origen” del terremoto (t_0)

x_0, y_0, h_0, t_0 : coordenadas incógnita del problema.

x, y, h : parámetros conocidos.

t : tiempo observado en cada estación.

N : número de estaciones, con $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ($N \geq 4$)

$$t_i = T(x_i, y_i, h_i; x_0, y_0, h_0, t_0) \quad [II]$$

Para posibilitar la aplicación de los mínimos cuadrados es necesario linealizar la ecuación [I] en función de las coordenadas hipocentrales, se aplica el desarrollo en serie de Taylor para estos parámetros, reteniendo sólo los términos lineales, y se obtiene:

$$t = T(0) + \frac{\partial T}{\partial x_0} \delta x_0 + \frac{\partial T}{\partial y_0} \delta y_0 + \frac{\partial T}{\partial h_0} \delta h_0 + \frac{\partial T}{\partial t_0} \delta t_0 + O(\delta x_0^2, \delta y_0^2, \delta h_0^2, \delta t_0^2) \quad [III]$$

Donde,

$T(0)$ es el tiempo de llegada a la estación para unas coordenadas hipocentrales espacio-temporales iniciales x'_0, y'_0, h'_0, t'_0 .

$\partial T / \partial x_0, \partial T / \partial y_0, \partial T / \partial h_0$ son las respectivas derivadas parciales del tiempo de llegada respecto de cada una de las coordenadas hipocentrales que se quieren calcular, evaluadas en el hipocentro aproximado inicial.

$\delta x_0, \delta y_0, \delta h_0, \delta t_0$ son los incrementos que hay que añadir al hipocentro inicial para obtener un hipocentro más aproximado.

$$\delta x_0 = x - x'_0; \quad \delta y_0 = y - y'_0; \quad \delta h_0 = h - h'_0; \quad \delta t_0 = t - t'_0 \quad [IV]$$

Constituyen las nuevas incógnitas del problema. Ahora el sistema de referencia tendrá su origen de coordenadas en el hipocentro aproximado, pero los ejes mantienen las mismas direcciones y sentidos que los definidos al principio.

$O(\delta x_0^2, \delta y_0^2, \delta h_0^2, \delta t_0^2)$ son los términos de segundo orden y mayor para $\delta x_0, \delta y_0, \delta h_0, \delta t_0$. Siempre y cuando no haya gradientes fuertes de velocidad, podrán ser despreciados en la ecuación [III], ya que tienen por coeficientes las segundas derivadas, las cuales decrecen con el inverso de la distancia hipocentral.

Se demuestra según **Lee y Stewart (1981)**:

$$\frac{\partial T}{\partial x_0} = -p \cos \varphi, \quad \frac{\partial T}{\partial y_0} = -p \sin \varphi, \quad \frac{\partial T}{\partial h_0} = -\frac{\cos i_0}{V_0}, \quad \frac{\partial T}{\partial t_0} = 1 \quad [V]$$

Donde,

$p = \sin i_0 / V_0$ es el parámetro del rayo, constante en cada punto de su trayectoria según la ley de Snell, la cual se obtiene aplicando el principio de Fermat de la condición de tiempo mínimo al camino recorrido.

i_0 es el ángulo de salida del rayo en el foco del terremoto, medido desde el lado positivo del eje H hacia la dirección del rayo en el foco.

V_0 es la velocidad de la onda, en el foco.

φ_0 es el acimut a la estación considerada, medido desde el epicentro (en el sentido de las agujas de reloj)

La ecuación [III] queda por tanto:

$$\delta t_0 - p' \cdot \cos \varphi'_0 \delta x_0 - p' \cdot \sin \varphi'_0 \delta y_0 - \frac{\cos i'_0}{V_0} \delta h_0 = \Delta t \quad [VI]$$

En esta expresión $p' = \sin i'_0 / V_0$, donde i'_0 y φ'_0 son los valores aproximados de i_0 y φ_0 .

Así pues, se considera que cada una de las respectivas derivadas parciales, ecuaciones [V], están evaluadas en los valores aproximados iniciales. Se ha

$$\begin{aligned}x_0^{(2)} &= x_0^{(1)} + \delta x_0^{(1)} & h_0^{(2)} &= h_0^{(1)} + \delta h_0^{(1)} \\y_0^{(2)} &= y_0^{(1)} + \delta y_0^{(1)} & t_0^{(2)} &= t_0^{(1)} + \delta t_0^{(1)}\end{aligned}\quad [\text{VIII}]$$

Se vuelve a plantear el sistema de ecuaciones en el nuevo hipocentro aproximado, y así sucesivamente hasta la k-ésima iteración:

$$\begin{aligned}x_0^{(k)} &= x_0^{(k-1)} + \delta x_0^{(k-1)} & h_0^{(k)} &= h_0^{(k-1)} + \delta h_0^{(k-1)} \\y_0^{(k)} &= y_0^{(k-1)} + \delta y_0^{(k-1)} & t_0^{(k)} &= t_0^{(k-1)} + \delta t_0^{(k-1)}\end{aligned}\quad [\text{IX}]$$

Se repite el proceso hasta que una de las siguientes condiciones se cumpla:

- El Error Medio Cuadrático (RMS) se encuentre por debajo de un valor prefijado.
- Se alcance un cierto número límite de iteraciones.

En definitiva, se trata de buscar unos valores $\bar{\delta}x_0$, $\bar{\delta}y_0$, $\bar{\delta}h_0$ y $\bar{\delta}t_0$ que hagan que el Error Medio Cuadrático (RMS) sea mínimo, es decir, que la media ponderada de los cuadrados de los residuos de cada una de las ecuaciones sea mínimo, donde:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \rho_i v_i^2}{M}} \quad [\text{X}]$$

M es el número de lecturas

ρ son los pesos dados a cada una de las lecturas, según la precisión con que se realiza la observación o el grado de fiabilidad que merece cada una.

1.3.2. Parámetros de tamaño

1.3.2.1. Escala de magnitud

La escala sismológica de Richter, también conocida como escala de magnitud local (M), es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar la energía sísmica liberada en la fuente, y que se manifiesta por la amplitud de las ondas sísmicas. Su definición se debe al sismólogo estadounidense C.F. Richter que la

propuso en 1935 con la colaboración de Beno Gutenberg, ambos investigadores del Instituto de Tecnología de California (CALTECH, <http://www.caltech.edu/>). La escala fue desarrollada para estudiar únicamente aquellos terremotos ocurridos dentro de un área particular del sur de California cuyos sismogramas (Figura 1.17) hubieran sido recogidos exclusivamente por el sismómetro de torsión de Wood-Anderson. Richter empleó inicialmente valores con una precisión de un cuarto de unidad, sin embargo, usó números decimales más tarde.

$$M = \log A + 3 \log D - 2,92 \quad [XI]$$

donde:

M = magnitud arbitraria pero constante a terremotos que liberan la misma cantidad de energía. Escala logarítmica.

A = amplitud de las ondas en milímetros, tomada directamente en el sismograma.

D = distancia lineal. En una primera aproximación puede determinarse por $8 \Delta t$.

Δt = tiempo en segundos desde el inicio de las ondas P al de las ondas S.

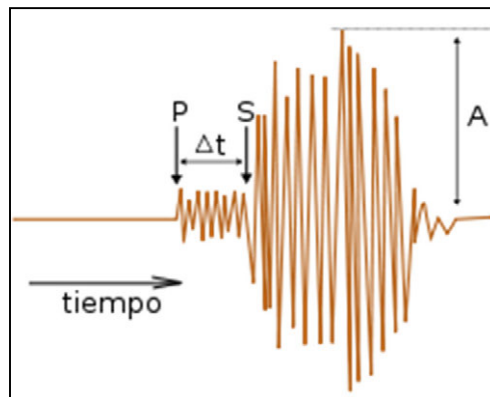


Figura 1.17: Sismograma que muestra cómo las ondas P se registran antes que las ondas S. El tiempo transcurrido entre ambos instantes es Δt . Este valor y el de la amplitud máxima (A) de las ondas S, le permitieron a Richter calcular la magnitud de un terremoto.

Richter arbitrariamente escogió un temblor de magnitud 0 para describir un terremoto que produciría un desplazamiento horizontal máximo de $1 \mu\text{m}$ en un sismograma trazado por un sismómetro de torsión Wood-Anderson, con 0,8 de amortiguamiento que amplifica 2.800 veces y tiene 0,8 s de período, localizado a 100 km de distancia del epicentro. Esta decisión tuvo la intención de prevenir la asignación de magnitudes negativas. Sin embargo, la escala de Richter no tenía límite máximo o

mínimo, y actualmente habiendo sismógrafos modernos más sensibles, éstos comúnmente detectan movimientos con magnitudes negativas.

Richter calibró la escala para California obteniendo una tabla de valores en función de la distancia. En nuestro caso, para poder utilizar magnitudes locales sería necesario calibrar la escala para nuestra región, así como simular a partir de los registros digitales el registro que se obtendría en un aparato Wood-Anderson igual al utilizado por Richter, para medir amplitudes sobre él. Esto nos permitiría obtener una magnitud local, solamente para aquellos sismos de los que se posee registro digital, con lo que no sería posible homogeneizar fácilmente la magnitud de todo el catálogo, ya que solamente disponen de registro digital en la Red Sísmica Nacional los sismos ocurridos desde el año 1986.

La magnitud definida por Richter lo fue para sismos locales, siendo a partir de los trabajos de **Gutenberg (1945)** y de **Gutenberg y Richter (1956)** cuando este concepto se amplía a terremotos registrados a grandes distancias. Al utilizar amplitudes referidas al movimiento del suelo es, en principio, independiente del aparato de registro y depende solamente de la onda que se utilice para la medida de la amplitud. Así varios investigadores propusieron extensiones a la escala de magnitud local, siendo las más populares la magnitud mb, que se determina utilizando la medida de la amplitud de las ondas internas, mientras que la magnitud Ms es obtenida a partir de la medida en el registro de las ondas superficiales.

Una de las fórmulas más utilizadas es la de Moscú – Praga de 1962 o la de la IASPEI (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior):

$$M_S = \log (A/T) + 1,66 \log \Delta + 3,3 \quad [\text{XII}]$$

donde:

Δ = distancia epicentral expresada en grados.

A = máxima amplitud traducida al movimiento del suelo del tren de ondas superficiales que se encuentra en el registro con un período en torno a los 20 segundos.

T = período de la onda.

Esta magnitud es utilizada generalmente para sismos lejanos donde el registro de ondas superficiales es claro y no se utiliza para sismos de profundidad mayor de 50 kilómetros ya que no contempla ninguna corrección por profundidad.

La magnitud m_b fue definida en 1956 por Gutenberg y Richter y utiliza la amplitud reducida al movimiento del suelo de la onda P comprendida en periodos entre 0.1 y 3 segundos y es la más extendida:

$$m_b = \log (A/T) + Q (\Delta, h) \quad [XIII]$$

donde:

Q = función que depende de la profundidad (h) y la distancia epicentral en grados (Δ), conocida como atenuación.

En España, al no existir sismógrafos Wood-Anderson no se desarrolló la magnitud local, sino que se utilizó una magnitud m_b obtenida a partir de la observación de la amplitud de las ondas P. Esta expresión fue posteriormente modificada para considerar la onda L_g siguiendo a **Nuttli (1973)**, que al ser una onda de cizalla, onda S_g propagada a distancias mayores como onda canal de la capa granítica y además corresponder generalmente con la mayor amplitud registrada en el registro de corto período, era fácil de identificar. Por otra parte, al tener una frecuencia comprendida en torno a 1 Hz, se puede considerar la responsable de la mayor parte del daño que se produce en estructuras convencionales.

Una vez seleccionada la onda fue necesario conectar la escala de magnitudes con alguna que se diese a nivel regional, de tal forma que fueran los valores dados comparables con otros de regiones cercanas y a su vez con los de magnitud m_b de uso internacional, **Mezcua y Martínez Solares (1983)**. Para realizar esto, se seleccionaron una serie de terremotos con magnitud m_b proporcionada por el NEIC (National Earthquake Information Center de los Estados Unidos), los cuales fueron observados en los registros de estaciones españolas midiéndose la amplitud y el período de la onda L_g . De esta forma y mediante un ajuste por mínimos cuadrados se obtuvieron las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} m_b (L_g) &= \log (A/T) + 1,05 \log \Delta + 3,90 && \text{para distancias epicentrales } \Delta < 3^\circ && [XIV] \\ m_b (L_g) &= \log (A/T) + 1,66 \log \Delta + 3,30 && \text{para distancias epicentrales } \Delta > 3^\circ \end{aligned}$$

Estas dos expresiones son las utilizadas en las determinaciones realizadas para todos los sismos del área de la península Ibérica. Para obtener unos mejores resultados en la determinación de la magnitud es necesario introducir correcciones, regionalizando el problema, ya que la fase Lg no se propaga de la misma forma por una corteza de tipo oceánico que por una de tipo continental, existiendo además fenómenos de amplificación o atenuación de carácter local.

Para los terremotos en las Islas Canarias se utiliza una fórmula que obtiene la magnitud en función de la duración del registro del sismo:

$$M_D = 2 \log D + 0,0035 \Delta - 0,87 \quad [XV]$$

Además, la fórmula que obtiene la magnitud en función de la duración del registro del sismo, **Mezcua y Martínez Solares (1983)**, utilizada para terremotos ocurridos entre 1923 y 1961 en la península Ibérica, también varía en función de la estación donde se registra el sismo:

$$\begin{aligned} \text{Toledo: } M_D &= 1,67 \log D + 0,001 \Delta - 0,2 \\ \text{Almería: } M_D &= 1,22 \log D + 0,001 \Delta + 1,20 \\ \text{Alicante: } M_D &= 1,44 \log D + 0,001 \Delta + 0,95 \end{aligned} \quad [XVI]$$

donde en estos casos:

D = duración del registro del sismo en segundos.

Δ = distancia epicentral en kilómetros.

1.3.2.1.1. Escala sismológica de magnitud momento

El mayor problema con la magnitud local M_o o de Richter radica en que es difícil relacionarla con las características físicas del origen del terremoto. En el último cuarto del siglo XX, la mayoría de los sismólogos consideró obsoletas las escalas de magnitudes tradicionales, siendo éstas remplazadas por una medida físicamente más significativa llamada magnitud momento, que es más adecuada para relacionar los parámetros físicos, como la dimensión de la ruptura sísmica y la energía liberada por el terremoto. Además, en los estudios de peligrosidad sísmica se generaliza el uso de la magnitud momento cada vez de forma más habitual para cuantificar el tamaño del

terremoto y su uso en el cálculo de la peligrosidad sísmica, ya que es una magnitud directamente relacionada con el momento sísmico.

A partir de los trabajos desarrollados en el Instituto de Tecnología de California, **Kanamori (1977)** y **Hanks y Kanamori (1979)**, se propuso la escala sismológica de magnitud de momento (M_W), la cual provee una forma de expresar momentos sísmicos que puede ser relacionada aproximadamente a las medidas tradicionales de magnitudes sísmicas. Está basada en la medición de la energía total que se libera en un terremoto.

Una de las ventajas de la escala de magnitud momento es que no se satura cerca de valores altos, es decir, a diferencia de otras escalas, ésta no tiene un valor por encima del cual todos los terremotos más grandes reflejen magnitudes muy similares. Por esta razón, la escala de magnitud momento es la más usada por sismólogos para medir y comparar terremotos de grandes proporciones en España a partir del trabajo de **Rueda y Mezcua (2005)**. El Centro Nacional de Información Sísmica (National Earthquake Information Center) de los Estados Unidos, dependiente del Servicio Geológico de EE.UU. (USGS), usa esta escala para la medición de terremotos de una magnitud superior a 3,5.

A pesar de lo anterior, la escala de Richter es la que goza de más popularidad en la prensa. Luego, es común que la prensa comunique la magnitud de un terremoto en «escala de Richter» cuando éste ha sido en realidad medido con la escala de magnitud momento. En algunos casos esto no constituye un error, dada la coincidencia de parámetros de ambas escalas, aunque se recomienda indicar simplemente «magnitud» y evitar la coletilla «escala de Richter» para evitar errores.

La magnitud momento sísmico (M_W) resume en un único número la cantidad de energía liberada por el terremoto. La "w" en el subíndice del símbolo M_W , proviene de la palabra “work”, que significa “trabajo”.

Obsérvese que la magnitud momento sísmico (M_W) se obtiene a partir de una función logarítmica con argumento adimensional y por tanto, es una variable adimensional. El momento sísmico (M_0), es un parámetro que representa el producto del desplazamiento relativo de la fractura (u) por su área de ruptura (A) y el coeficiente de rigidez del medio (μ), y está relacionado directamente con la energía:

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot u \quad [\text{XVII}]$$

La relación entre M_W y M_0 está dada por una fórmula desarrollada por **Kanamori (1977)** en el Instituto de Tecnología de California (CALTECH), que es la que sigue:

$$M_W = \frac{2}{3} \left(\log_{10} \left(\frac{M_0}{N \cdot m} \right) - 9,1 \right) = \frac{2}{3} \left(\log_{10} \left(\frac{M_0}{dina \cdot cm} \right) - 16,1 \right) \quad [XVIII]$$

A continuación se muestra una tabla-resumen descriptiva del tipo de magnitudes empleadas en España:

▪ Terremotos en el área de la península Ibérica:

1. **M_D (M-MS)**: magnitud por duración (**Mezcua y Martínez Solares, 1983**). Utilizada para terremotos ocurridos entre 1923 y 1961. La fórmula utilizada varía en función de la estación donde se registra el sismo.

$$\text{Toledo: } M_D = 1.67 \log D + 0.001 \Delta - 0.2$$

$$\text{Almería: } M_D = 1.22 \log D + 0.001 \Delta + 1.20 \quad [XIX]$$

$$\text{Alicante: } M_D = 1.44 \log D + 0.001 \Delta + 0.95$$

Donde D es la duración del registro en segundos y Δ la distancia epicentral en kilómetros.

2. **$M_b L_g$ (M-MS)**: magnitud a partir de la amplitud de la fase L_g (**Mezcua y Martínez Solares, 1983**). Utilizada para terremotos ocurridos entre 1962 y marzo de 2002. La fórmula utilizada para cada registro depende de la distancia epicentral Δ .

$$m_b(L_g) = \log(A/T) + 1.05 \log \Delta + 3.90 \quad \text{para } \Delta < 3 \quad [XX]$$

$$m_b(L_g) = \log(A/T) + 1.66 \log \Delta + 3.30 \quad \text{para } \Delta > 3^\circ$$

Donde A y T son la amplitud en micrómetros y el periodo en segundos del máximo sostenido del tren de ondas L_g y Δ la distancia epicentral en grados.

3. **m_b (V-C)**: magnitud de ondas internas (**Veith y Clawson, 1972**). Utilizada para terremotos ocurridos a partir de 1998. Esta magnitud viene dada por:

$$m_b(V-C) = \log(A/T) + Q(\Delta, h) \quad [XXI]$$

Donde A y T son la amplitud y periodo de la fase P, y Q (Δ, h) es un factor de corrección dependiente de la profundidad y la distancia epicentral, tabulado para distancias entre 0° y 100° (**Veith y Clawson, 1972**).

4. **$m_b L_g$ (L)**: magnitud a partir de la amplitud de la fase Lg (**López, 2008**). Utilizada para terremotos ocurridos a partir de marzo de 2002. Esta fórmula de magnitud ha sido referida a la fórmula de magnitud local de **Richter (1935)**, de manera que para un periodo de 1 segundo ambas escalas coinciden a una distancia de referencia de 100 kilómetros. La expresión matemática de esta magnitud viene dada por:

$$m_b L_g(L) = \log(A/T) + 1,17 \log R + 0,0012R + 0,6 \quad [XXII]$$

Donde A es la amplitud del desplazamiento en micras, T el periodo en segundos y R la distancia hipocentral en kilómetros.

5. **M_W** : magnitud momento (**Hanks y Kanamori, 1979**) cuya expresión viene dada por:

$$M_W = (2/3) \log M_0 - 10,7 \quad [XXIII]$$

Donde M_0 es momento sísmico escalar en dyn·cm. Estimación basada en el método de **Dreger y Helmberger (1993)** implementada en el Instituto Geográfico Nacional (**Rueda y Mezcua, 2005**)

▪ Terremotos en el Mundo:

6. **ML_v** : magnitud local calculada en la componente vertical, usando una corrección para adecuarla a la ML estándar de **Richter (1935)**.

7. **mb**: magnitud de ondas internas medida en los registros después de aplicar un filtro Butterworth con frecuencias esquina de 0,7 y 2 Hz, usando la fórmula de **Gutenberg y Richter (1956)**.
8. **mB**: magnitud de ondas internas medida en registros de Banda Ancha (**Bormann y Saul, 2008**).
9. **Mwp**: magnitud medida en las ondas P (**Tsuboi et al., 1995**).
10. **Mw (mB)**: estimación de la magnitud momento Mw basándose en la magnitud mB (**Bormann y Saul, 2008**).
11. **Mw (Mwp)**: estimación de la magnitud momento Mw basándose en la magnitud Mwp (**Whitmore et al., 2002**).

1.3.2.2. Intensidad

Mientras que la magnitud de un sismo es una medida cuantitativa de la energía liberada en forma de ondas sísmicas, es un parámetro de origen de un sismo y se mide en una escala continua a partir de registros instrumentales, con valores únicos para cada terremoto, la intensidad se refiere a una medida cualitativa de los efectos en un lugar determinado debido a un sismo y no se mide en una escala continua.

La intensidad es una medida de severidad de la sacudida del suelo basada en los efectos causados por un sismo en un lugar determinado de la superficie terrestre, y permite representar fácilmente descripciones de efectos mediante un símbolo, usualmente un número. En ese lugar, un sismo pequeño pero muy cercano puede causar alarma y grandes daños, en cuyo caso se dice que su intensidad es grande. En cambio, un sismo muy grande pero muy lejano puede apenas ser sentido ahí y su intensidad, en ese lugar, será pequeña. Cuando se habla de la intensidad de un sismo, sin indicar dónde fue medida, ésta representa (usualmente) la correspondiente al área de mayor intensidad observada (área pleistosista).

Una de las primeras escalas de intensidades es la de Rossi-Forel (10 grados), propuesta en 1883. Existen varias escalas de intensidades, usadas en distintos países, por ejemplo, la escala JMA (7 grados) en Japón.

La escala más común en EE.UU. es la escala modificada de Mercalli (MM) (Figura 1.18) que data de 1931, la cual abarca un rango que va desde el grado I (detectado sólo con instrumentos) hasta el grado XII (destrucción total). Los niveles bajos de la escala están asociados por la forma en que las personas sienten el temblor, mientras que los grados más altos se relacionan con el daño estructural observado. Como la intensidad varía de punto a punto, las evaluaciones en un lugar dado constituyen, generalmente, un promedio, y por eso la intensidad se acostumbra a expresar sólo en grados enteros.

Grado	Descripción
I. Muy débil	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
II. Débil	Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III. Leve	Se percibe en los interiores de los edificios y casas.
IV. Moderado	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
V. fuerte	La mayoría de las personas lo percibe aun en el exterior. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y pueden llegar a derramarse. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.
VI. Bastante Fuerte	Lo perciben todas las personas. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se hace visible el movimiento de los árboles, o bien, se les oye crujir.
VII. Muy fuerte	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Se dañan los muebles. Caen trozos de mampostería, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Se producen ondas en los lagos.
VIII. Destructivo	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aun el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos.
IX. Ruinoso	Pánico generalizado. Todos los edificios sufren grandes daños. Las casas sin cimentación se desplazan. Se quiebran algunas canalizaciones subterráneas, la tierra se fisura.
X. Desastroso	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. El agua de canales, ríos y lagos sale proyectada a las riberas.
XI. Muy desastroso	Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las cañerías subterráneas quedan totalmente fuera de servicio.
XII. Catastrófico	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.

Figura 1.18: *Escala de Mercalli Modificada (MM).*

En Europa, la escala oficial fue la MSK (12 grados) desde 1964, **Medvedev et al. (1965)**. A partir del año 1998 hasta la actualidad, la escala de intensidad empleada es la EMS-98 (European Macroseismic Scale 1998), **Grünthal (1998)**.

1.3.2.2.1. Escala de intensidad macrosísmica europea EMS-98

La Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), **Grünthal (1998)**, es la base para la evaluación de la intensidad sísmica en los países europeos y, además, en uso en otros continentes. Publicada en 1998 como actualización de la versión que se había venido depurando desde 1992, la escala se denomina oficialmente EMS-98.

La historia del EMS se inició en 1988, cuando la Comisión Sismológica Europea (CES) decidió revisar y actualizar la escala Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK-64), **Medvedev et al. (1965)**, o Escala Macrosísmica Internacional, que venía siendo utilizada en su forma básica en Europa durante casi un cuarto de siglo. Después de más de cinco años de intensa investigación y desarrollo y un período de cuatro años de pruebas, nació la nueva escala. En 1996, la XXV Asamblea General de la CES aprobó en Reykjavik una resolución recomendando la adopción de la nueva escala por los países miembros de la Comisión Sismológica Europea.

Una característica importante de esta escala es que para facilitar su aplicación, además de las definiciones de grados, daños, edificios y cantidad, viene acompañada de explicaciones, comentarios, fotografías, etc.

Se describen a continuación las clasificaciones usadas en la EMS-98:

❖ Diferenciación de estructuras (edificios) en clases de vulnerabilidad (Tabla 1.3):

La forma en que los edificios responden a la sacudida de un terremoto depende de su vulnerabilidad, que incluye factores tales como el tipo de material constructivo, diseño del edificio, estado de conservación, calidad constructiva, etc. En escalas anteriores los edificios se clasificaban únicamente en función de sus materiales.

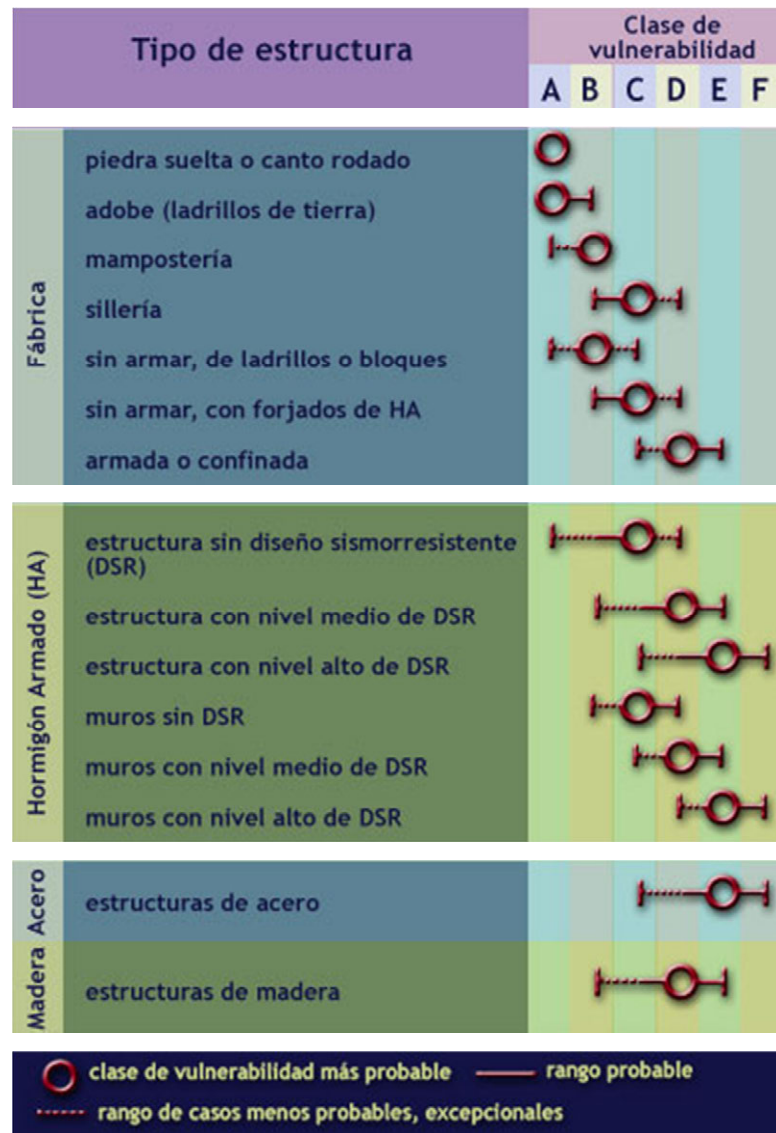


Tabla 1.3: Tabla de vulnerabilidad empleada en la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98).

Los tipos de estructuras de fábrica han de leerse, por ejemplo, fábrica de mampostería, mientras que los tipos de estructuras de hormigón armado (HA) han de leerse, por ejemplo, pórticos de HA o muros de HA.

❖ Clasificación de daños:

La forma en que un edificio se deforma bajo la acción de un terremoto depende del tipo de edificio. En una clasificación genérica se pueden distinguir los tipos de edificios de fábrica y los de hormigón armado.

▪ Clasificación de daños en edificios de fábrica:

- *Grado 1: Daños de despreciables a ligeros (ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)*

Fisuras en muy pocos muros.

Caída sólo de pequeños trozos de revestimiento.

Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.



- *Grado 2: Daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)*

Grietas en muchos muros.

Caída de trozos bastante grandes de revestimiento.

Colapso parcial de chimeneas.



- *Grado 3: Daños de importantes a graves (daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)*

Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros.

Se sueltan tejas del tejado.

Rotura de chimeneas por la línea del tejado.

Se dañan elementos individuales no-estructurales (tabiques, hastiales y tejados).



- *Grado 4: Daños muy graves (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)*

Se dañan seriamente los muros.

Se dañan parcialmente los tejados y forjados.



- *Grado 5: Destrucción (daños estructurales muy graves)*

Colapso total o casi total.

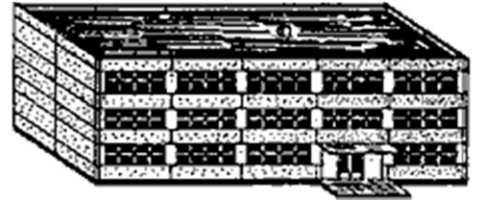


■ Clasificación de daños en edificios de hormigón armado:

- Grado 1: Daños de despreciables a ligeros (ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)

Fisuras en el revestimiento de pórticos o en la base de los muros.

Fisuras en tabiques y particiones.



- Grado 2: *Daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)*

Grietas en vigas y pilares de pórticos y en muros estructurales.

Grietas en tabiques y particiones: caída de enlucidos y revestimientos frágiles. Caída de mortero de las juntas de paneles prefabricados.



- Grado 3: *Daños de importantes a graves (daño estructurales moderados, daños no-estructurales graves)*

Grietas en pilares y en juntas viga/pilar en la base de los pórticos y en las juntas de los muros acoplados.

Desprendimiento de revocos de hormigón, pandeo de la armadura de refuerzo.

Grandes grietas en tabiques y particiones; se dañan paneles de particiones aislados.



- Grado 4: *Daños muy graves (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)*

Grandes grietas en elementos estructurales con daños en el hormigón por compresión y rotura de armaduras; fallos en la trabazón de la armadura de las vigas; ladeo de pilares.

Colapso de algunos pilares o de una planta alta.



- Grado 5: *Destrucción (daños estructurales muy graves)*

Colapso de la planta baja o de partes (por ejemplo alas) del edificio.



❖ Definiciones de cantidad:

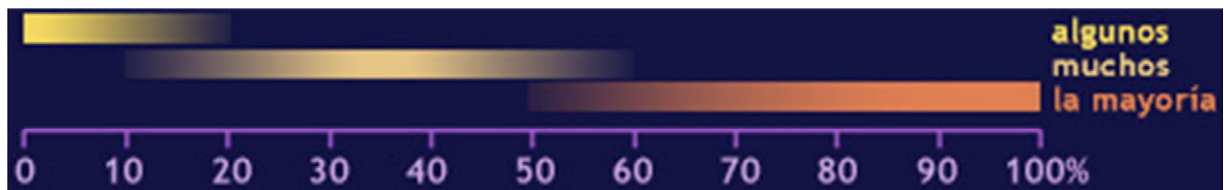


Figura 1.19: Gráfico que muestra el criterio seguido para definir el porcentaje de población que ha sentido un determinado terremoto en la Escala Macrosísmica Europea EMS-98.

❖ Definiciones de los grados de intensidad:

Organización de la escala:

- Efectos en las personas.
- Efectos en los objetos y en la naturaleza.
- Daños en edificios.

Observación preliminar:

Cada grado de intensidad puede incluir también los efectos de la sacudida de los grados de intensidad menores, aunque dichos efectos no sean mencionados explícitamente.

I – No sentido

- No sentido, ni en las condiciones más favorables.
- Ningún efecto.
- Ningún daño.

II – Apenas sentido

- a) El temblor es sentido sólo en casos aislados (1%) de individuos en reposo y en posiciones especialmente receptivas dentro de edificios.
- b) Ningún efecto.
- c) Ningún daño.

III – Débil

- a) El terremoto es sentido por algunos dentro de edificios. Las personas en reposo sienten un balanceo o ligero temblor.
- b) Los objetos colgados oscilan levemente.
- c) Ningún daño.

IV – Ampliamente observado

- a) El terremoto es sentido dentro de los edificios por muchos y sólo por muy pocos en el exterior. Se despiertan algunas personas. El nivel de vibración no asusta. La vibración es moderada. Los observadores sienten un leve temblor o cimbreo del edificio, la habitación o de la cama, la silla, etc.
- b) Tintineo de vajillas, cristalerías, ventanas y puertas. Los objetos colgados oscilan. En algunos casos los muebles ligeros tiemblan visiblemente. En algunos casos chasquidos de la carpintería.
- c) Ningún daño.

V – Fuerte

- a) El terremoto es sentido dentro de los edificios por la mayoría y por algunos en el exterior. Algunas personas se asustan y corren al exterior. Se despiertan muchas de las personas que duermen. Los observadores sienten una fuerte sacudida o bamboleo de todo el edificio, la habitación o el mobiliario.
- b) Los objetos colgados oscilan considerablemente. Las vajillas y cristalerías chocan entre sí. Los objetos pequeños, inestables y/o mal apoyados pueden desplazarse o caer. Las puertas y ventanas se abren o cierran de pronto. En algunos casos se rompen los cristales de las ventanas. Los líquidos oscilan y pueden derramarse de recipientes totalmente llenos. Los animales dentro de edificios se pueden inquietar.
- c) Daños de grado 1 en algunos edificios de clases de vulnerabilidad A y B.

VI – Levemente dañino

- a) Sentido por la mayoría dentro de los edificios y por muchos en el exterior. Algunas personas pierden el equilibrio. Muchos se asustan y corren al exterior.
- b) Pueden caerse pequeños objetos de estabilidad ordinaria y los muebles se pueden desplazar. En algunos casos se pueden romper platos y vasos. Se pueden asustar los animales domésticos (incluso en el exterior).
- c) Se presentan daños de grado 1 en muchos edificios de clases de vulnerabilidad A y B; algunos de clases A y B sufren daños de grado 2; algunos de clase C sufren daños de grado 1.

VII – Dañino

- a) La mayoría de las personas se asusta e intenta correr fuera de los edificios. Para muchos es difícil mantenerse de pie, especialmente en plantas superiores.
- b) Se desplazan los muebles y pueden volcarse los que sean inestables. Caída de gran número de objetos de las estanterías. Salpica el agua de los recipientes, depósitos y estanques.
- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad C presentan daños de grado 2.
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad D presentan daños de grado 1.

VIII – Gravemente dañino

- a) Para muchas personas es difícil mantenerse de pie, incluso fuera de los edificios.
- b) Se pueden volcar los muebles. Caen al suelo objetos como televisiones, máquinas de escribir, etc. Ocasionalmente las lápidas se pueden desplazar, girar o volcar. En suelo muy blando se pueden ver ondulaciones.
- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.

Algunos edificios de clase de vulnerabilidad D presentan daños de grado 2.

IX – Destructor

- a) Pánico general. Las personas pueden ser lanzadas bruscamente al suelo.
- b) Muchos monumentos y columnas se caen o giran. En suelo blando se ven ondulaciones.
- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A presentan daños de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad E presentan daños de grado 2.

X – Muy destructor

- c) La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad A presentan daños de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad F presentan daños de grado 2.

XI – Devastador

- c) La mayoría de los edificios de clase B de vulnerabilidad presentan daños de grado 5.
La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4; muchos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.

XII - Completamente devastador

- c) Se destruyen todos los edificios de clases de vulnerabilidad A, B y prácticamente todos los de clase C. Se destruyen la mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad D, E y F. Los efectos del terremoto alcanzan los efectos máximos concebibles.

Es común representar en un mapa los efectos de un sismo mediante curvas, llamadas isosistas, que representan los lugares donde se sintió la misma intensidad (Figura 1.20). Generalmente se observan las mayores intensidades cerca de la zona epicentral, aunque, a veces, pueden existir factores, como condiciones particulares del terreno, efectos de guías de ondas, etc., que ocasionen que un sismo cause mayores daños a distancias lejanas del epicentro. Otro factor que hace que la región pleistosista no coincida con la epicentral, es que pueden reportarse las mayores intensidades en otros sitios, donde, debido a la concentración de población, un terremoto causará más daños (o al menos serán reportados más daños) que en una región comparativa o totalmente deshabitada.

Cuando una rotura se propaga en una falla, crece, preferentemente, en una dirección determinada, y puede producir mayores intensidades en sitios situados a lo largo de esa dirección que a lo largo de otras. Este efecto se conoce con el nombre de directividad y es uno de los factores que hacen que las isosistas no formen círculos concéntricos.

Como las intensidades son medidas de daños, y éstos están muy relacionados con las aceleraciones máximas causadas por las ondas sísmicas, es posible relacionarlos aproximadamente. De acuerdo a la *Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02): Parte general y edificación*, definida en el *Real Decreto 997/2002, de 27 de Septiembre*, la relación es la siguiente:

$$\log a \text{ (cm/s}^2\text{)} = 0,30103I - 0,2321 \quad [XXIV]$$

donde I es la intensidad y a es la aceleración.

Esta relación nos dice que una intensidad de XI corresponde a aceleraciones del orden de $1468 \text{ cm/s}^2 = 1,5 \text{ g}$ ($g = 980 \text{ cm/s}^2$, es la aceleración de la gravedad en la superficie terrestre), una intensidad de IX corresponde a $0,7 \text{ g}$, y una intensidad de VII a $0,07 \text{ g}$. Aparentemente la aceleración mínima que percibe el ser humano es del orden de $0,001 \text{ g}$, correspondiente a la intensidad II.

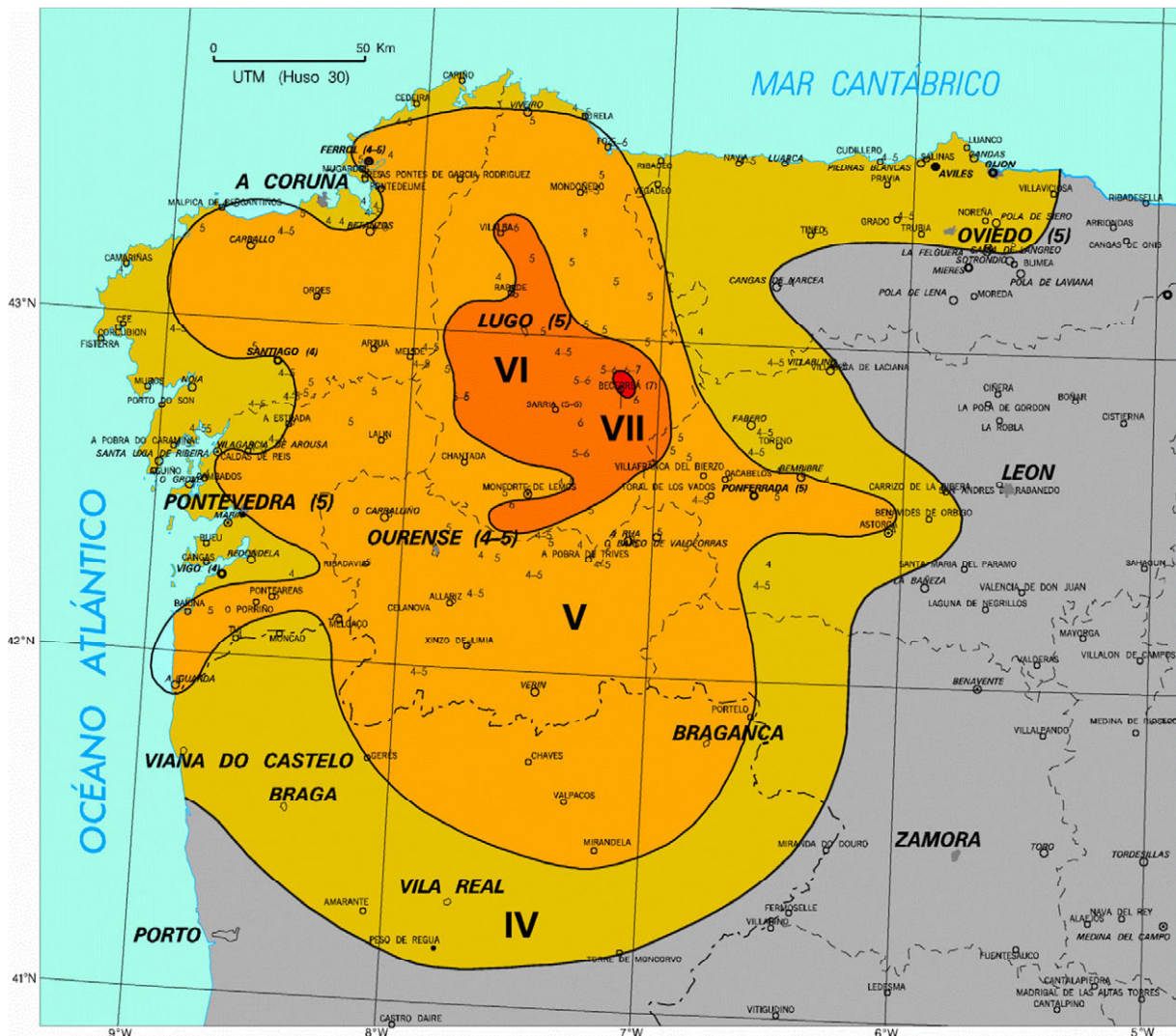


Figura 1.20: Mapa de isosistas que muestra la evaluación de la intensidad en la escala EMS-98 de los efectos del terremoto ocurrido en Lugo (Galicia), el 21 de Mayo de 1997 (5,3mbLg), **Rueda y Mezcua (2001)**. Los datos de la zona portuguesa han sido facilitados por el Instituto de Meteorología de Portugal.

Después de este primer apartado de introducción, en el apartado 2 se describe la instrumentación tanto de la estación sísmica de corto periodo de Cercedilla como de la estación sísmica de banda ancha de Guadarrama (GUD), cuyos datos registrados

constituyen la fuente de datos para el servicio de información de terremotos que se desarrolla en el presente trabajo.

En el apartado 3, se describe el sistema de transmisión de los paquetes de datos en tiempo real desde la estación sísmica GUD hacia la sede del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y desde aquí hasta la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía vía Internet. Se explican las características técnicas del hardware y el software que ha sido necesario instalar en el PC de la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía (PC-ESCUELA), dando a conocer con detalle los procedimientos llevados a cabo para la configuración de los programas instalados que nos han permitido monitorizar y almacenar los datos registrados por la estación sísmica GUD.

En el apartado 4, se describen todos los procedimientos y aplicaciones desarrolladas para la puesta en marcha de una Unidad de Visualización de datos sísmicos, y engloba varios subapartados:

En el subapartado 4.1, se describe el flujo de datos sísmicos desde su registro en la estación sísmica de banda ancha GUD hasta que la información es mostrada en forma de imágenes en la Unidad de Visualización de datos en PC-ESCUELA. Se hace hincapié en la descripción de la aplicación desarrollada “saco”, la cual gestiona tanto el tratamiento de los ficheros de datos entrantes a la cuenta de correo asociada al proyecto *terremoto@topografia.upm.es*, como la ejecución del resto de aplicaciones desarrolladas para la creación y el diseño de las imágenes de los mapas de sismicidad, listados de terremotos, la construcción de la segmentación y la película animada. Se muestran con detalle los esquemas de distribución de dichas imágenes en cada área de la Unidad de Visualización consistente en una página WEB independiente, programada y diseñada mediante código XHTML.

En el subapartado 4.2, se describe el diseño y desarrollo del software de visualización de la información de terremotos, donde se explica con detalle el programa GMT (Generic Mapping Tools), **Wessel y Smith (1985)**, instalado y manejado para el desarrollo de las distintas aplicaciones que permiten la creación y el diseño de los mapas de sismicidad y listados de terremotos.

En el subapartado 4.3, se describe el diseño y desarrollo del software de visualización de los registros gráficos de la actividad sísmica registrada y analizada, donde se describe el software SAC (Seismic Analysis Code), **Goldstein y Minner (1995)**, uno de los más extendidos en la comunidad de investigación sismológica, con el que se analizan los

datos sísmicos y se desarrollan las aplicaciones para la construcción de la segmentación y la película animada.

En el subapartado 4.4, se describe el procedimiento empleado para mostrar la información sísmica al usuario de forma periódica. Se explica cómo cada una de las áreas que componen la Unidad de Visualización de datos sísmicos actualizados, en las cuales se distribuyen los distintos grupos de imágenes generadas, consiste en una página WEB independiente, confeccionada y diseñada a partir de una serie de aplicaciones desarrolladas mediante lenguaje XHTML, que se alterna en el monitor de forma periódica y automática durante un tiempo programado de quince segundos.

En el apartado 5, se ha desarrollado un procedimiento que permite establecer una vía de comunicación interactiva entre el usuario y la Unidad de Visualización de datos sísmicos, a través del envío de un mensaje de correo electrónico para visualizar en el Monitor Sísmico Interactivo la información relativa a un evento que sea de su interés.

Después de la argumentación de las principales conclusiones, futuros desarrollos y líneas de mejora que se abren como consecuencia de este trabajo desarrolladas en el capítulo 7, se ha añadido a modo de Anexo el listado de las distintas aplicaciones o programas informáticos desarrollados, junto con su código de programación.

2. REVISIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN SÍSMICA

Abordamos en este apartado una descripción detallada de la instrumentación de campo que forma parte tanto de la estación sísmica de corto periodo de Cercedilla como de la estación sísmica de banda ancha de Guadarrama, cuyos datos registrados son utilizados en el trabajo. Se analizan las características de cada uno de sus componentes, su operatividad con la señal sísmica detectada y la relación existente entre ellos.

2.1. ESTACIÓN SÍSMICA DE CORTO PERIODO DE CERCEDILLA

La estación sísmica de corto periodo fue cedida por el IGN e instalada en la Residencia “Lucas Olazábal” perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid, la cual se ubica en el camino de La Dehesilla y Rodeo nº1, en la localidad de Cercedilla (Madrid). En la figura 2.1 se muestra un plano de situación:

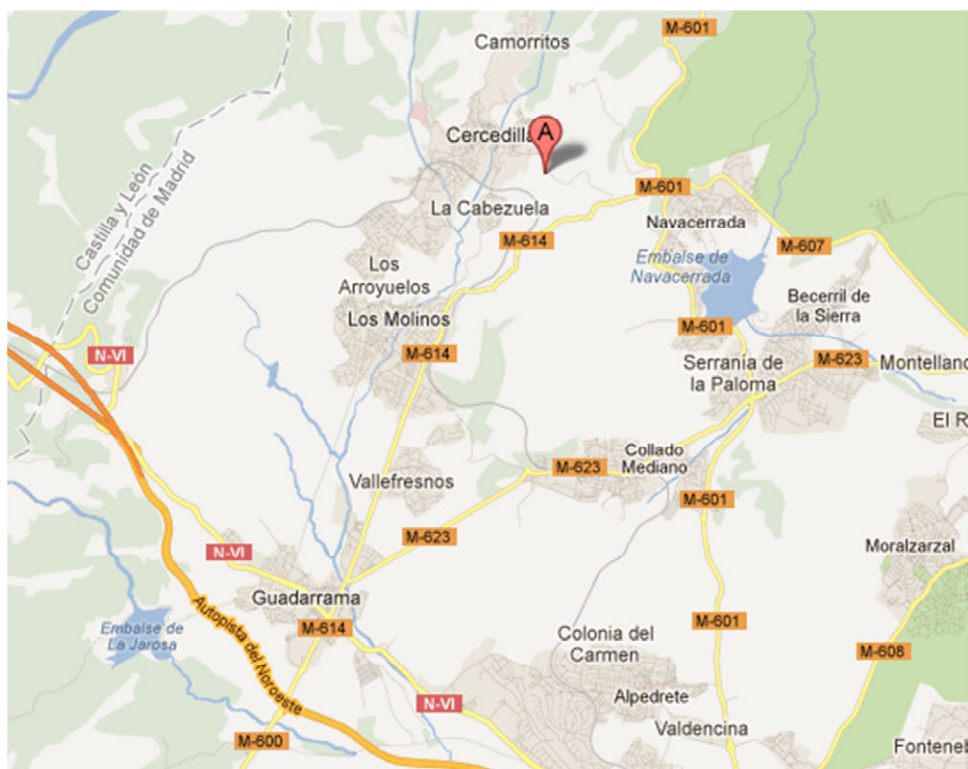


Figura 2.1: Plano de situación de la Residencia “Lucas Olazábal” en Cercedilla (Madrid)

Este tipo de estación sísmica se denomina “de corto periodo” debido a que emplea un sismómetro que se caracteriza por tener una respuesta máxima en velocidad

en el rango de frecuencias entre 1 y 50 Hz. Su respuesta en frecuencias y sobre todo su rango dinámico hacen de éste el instrumento ideal para estudio de sismicidad local y regional (sismos próximos) de magnitud moderada o baja, pero no para energías grandes debido a que se suele producir la saturación mecánica del instrumento, ni para el análisis y estudio de sismos ocurridos a grandes distancias (sismos lejanos o telesismos) por sus bajas frecuencias.

Dentro del recinto que abarcan las instalaciones de la Residencia “Lucas Olazábal”, la instrumentación de la estación de campo remota está compuesta por un sistema de alimentación y un sistema remoto de adquisición de información sismológica, instalados en el interior de una caseta de mampostería al aire libre (Figura 2.2) con el fin de protegerlos contra el vandalismo y las inclemencias del medio ambiente, y un sistema de comunicaciones, instalado en el edificio principal de la residencia, tal y como se representa en el esquema de la figura 2.3. El sistema de adquisición de información se compone a su vez de un sismómetro, un sistema de acondicionamiento de señal formado por un amplificador de ganancia variable y filtros variables de tipo pasa-bajas y pasa-altas, y un módulo de calibración automático.



Figura 2.2: Caseta que aloja la instrumentación de la estación de Cercedilla.

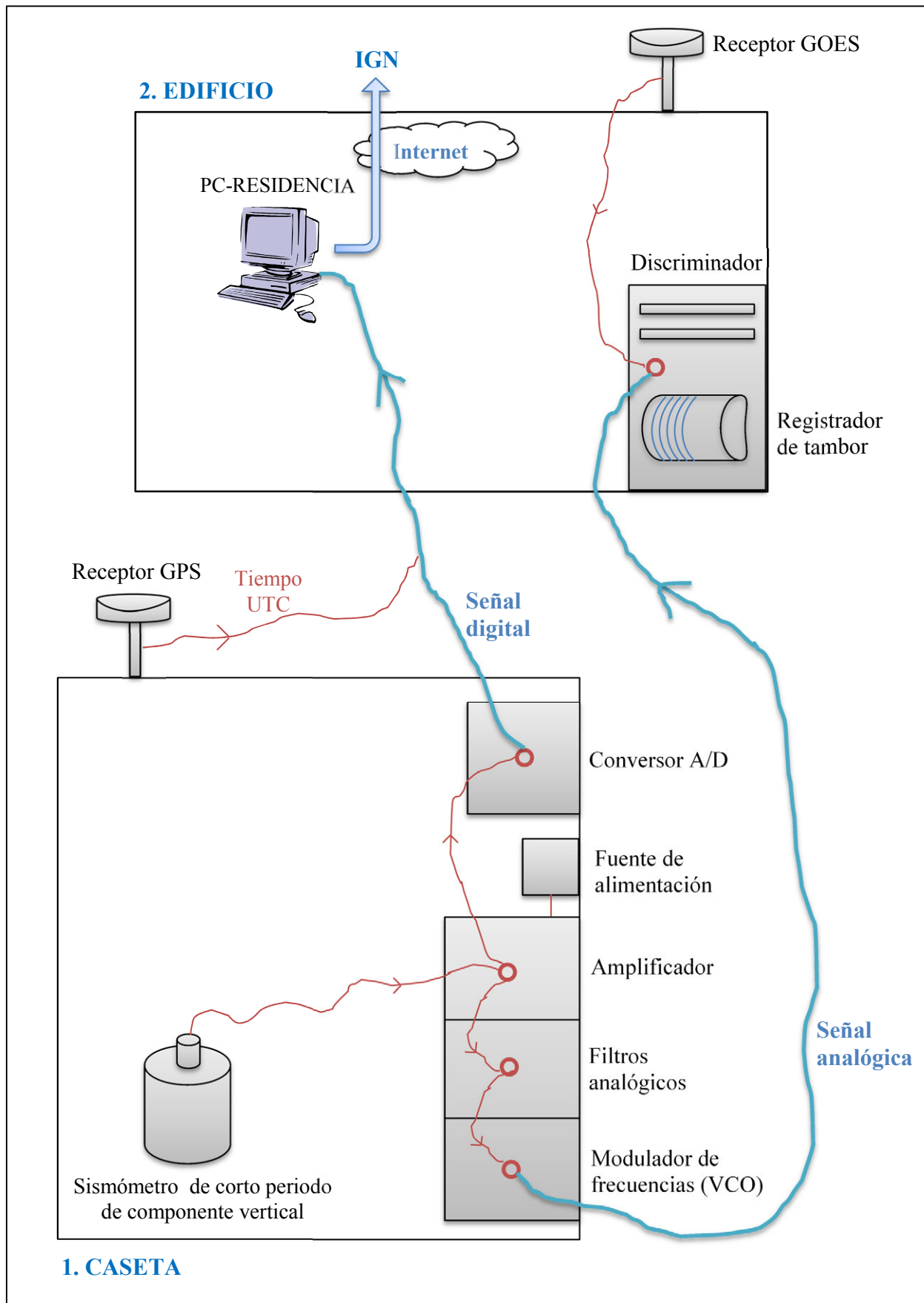


Figura 2.3: Esquema de la instalación de la estación sísmica en la Residencia "Lucas Olazábal" en Cercedilla.

2.1.1. Sismómetro

El sismómetro es el elemento que detecta la vibración del terreno y se encuentra instalado sobre un pedestal rígido de hormigón, firmemente anclado a la roca. Para evitar al máximo la transmisión de ruido que la estructura pueda inducir al sensor, el pedestal queda desligado físicamente de la cimentación de la caseta (Figuras 2.4 y 2.5)



Figura 2.4: Sismómetro Kinemetrics Ranger SS-1 instalado en el interior de la caseta de la Residencia "Lucas Olazábal"



Figura 2.5: Detalle de sismómetro instalado en el interior de la caseta de la Residencia "Lucas Olazábal"

El sismómetro instalado es Kinemetrics Ranger modelo SS-1 (corto periodo) S.N.-1125, de tipo electromagnético con bobina móvil, y tiene una frecuencia natural de 1Hz, amortiguamiento crítico de 0,7 y constante generadora cuyo valor nominal es de $G_0=340$ v/m/s, $R_c=5.860$ Ohm y $R_x=4.550$ Ohm. Es de componente vertical (Z), dispone de una bobina de calibración a la que se introduce una corriente patrón que permite simular una aceleración del movimiento del suelo y el sistema de telemetría es TH-3 Módulo (AOM-1) N(RSN).-R02E01. En la figura 2.6 se presenta la curva de amplificación del sistema formado por el sismómetro Kinemetrics SS-1, amplificador /filtro AM-2 (para filtros 0,3-12,5 Hz) y su visualización en el registrador gráfico VR-2.

El principio de funcionamiento de un sismómetro, también llamado geófono o transductor de velocidad, está basado en el principio de inercia de los cuerpos. Este principio considera que todos los cuerpos tienen una resistencia al movimiento, el cual puede ser medido con respecto a la posición de una masa suspendida por un elemento que le permita permanecer en reposo por unos instantes con respecto al suelo. Este mecanismo consiste en una masa suspendida de un resorte fijado a un soporte acoplado al suelo, que cuando es sacudido por el paso de las ondas sísmicas, la inercia de la masa

hace que ésta permanezca un instante en reposo y posteriormente tienda a oscilar alrededor de su posición de equilibrio.

En los sismómetros electromagnéticos, se produce un desplazamiento de la masa oscilante fijada a una bobina solenoide dentro del campo magnético creado por un imán fijado al suelo, que produce como respuesta una inducción electromagnética, lo cual provoca que se genere a través de la bobina una tensión proporcional a la velocidad con que la masa se mueve en relación al suelo. Así pues, el sismómetro detecta las vibraciones del terreno provocadas por la actividad sísmica y convierte el movimiento del suelo en una señal de voltaje, que es directamente proporcional al movimiento relativo entre la masa oscilante y la caja del sensor a la que se halla rígidamente unida que se mueve con el suelo. Este movimiento relativo, para frecuencias mayores que la frecuencia propia de oscilación (zona plana de la curva de respuesta), es proporcional al movimiento del suelo y, por lo tanto, en esta zona la señal eléctrica de salida es proporcional a la señal de entrada (velocidad del movimiento del suelo).

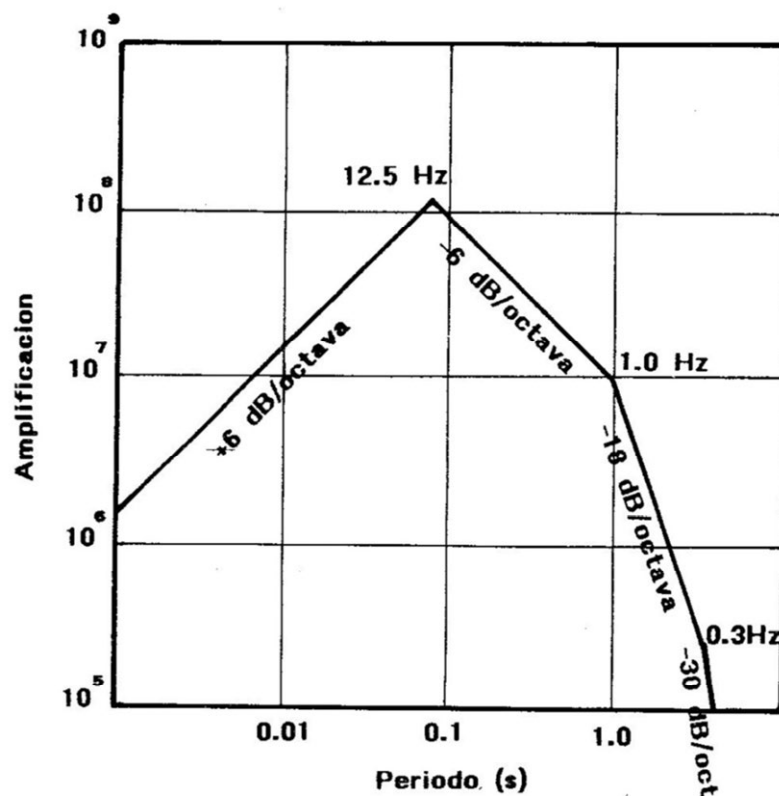


Figura 2.6: Curva de amplificación del sistema formado por el sismómetro Kinematics SS-1, el amplificador / filtro AM-2 (para filtros de 0,3-12,5 Hz) y su visualización en el registrador gráfico VR-2.

2.1.2. Sistema acondicionador de señal y telemetría

Este sistema, alimentado por una fuente de alimentación de 24 VDC y baterías alternativas en caso de corte de suministro eléctrico, está compuesto por los siguientes módulos electrónicos (Figuras 2.7 y 2.8):

- **Amplificador:** este tipo de estaciones tienen amplificaciones altas, ya que están dedicadas a la microsismicidad. Se aplica una amplificación de entrada de tipo diferencial, con una ganancia seleccionable en pasos de 6 dB desde un valor mínimo de 30 dB hasta un valor máximo de 66 dB, con gran estabilidad y bajo ruido.
- **Filtros:** existen dos tipos de módulos en el equipo, y para cada uno de ellos se dispone de filtros pasa-bajas y pasa-altas para limitar el ancho de banda, y con una atenuación de 12 dB/octava y frecuencias de corte seleccionables entre (0,003; 0,3; 3 Hz y 5; 10; 30 Hz) y (0,03; 0,3 Hz y 5,0; 12,5; 25,0; 50,0; 100 Hz) dependiendo del tipo de modulador. Estos filtros son analógicos, filtran la señal electrónicamente y tienen sus limitaciones, ya que no se pueden construir de pasos infinitos.
- **Modulador (telemetría analógica):** para que la señal pueda viajar por un canal de comunicaciones analógico (línea telefónica o radio) es necesario convertirla en una señal modulada. La señal amplificada y filtrada es utilizada para modular en frecuencia (FM) a una subportadora de audio de frecuencias fija mediante un oscilador controlado por voltaje (VCO). Se produce así la señal modulada en frecuencia. De esta manera, el voltaje del sensor es convertido a una señal en la banda audible, con frecuencia proporcional a la velocidad del movimiento del suelo en una banda de ± 125 Hz alrededor de la frecuencia de la subportadora.
- **Convertor analógico/digital (telemetría digital):** en paralelo, la señal es introducida en un convertor analógico/digital (Figura 2.9), donde el voltaje es convertido a números binarios, de modo que la señal digitalizada pueda ser enviada a través de un modem.
- **Módulo de calibración:** hay una bobina de calibración en la base del sismómetro. Una vez cada 24 horas, un pulso de corriente continua del módulo de calibración alimenta la bobina del sismómetro, proporcionando un medio sencillo de control y evaluación del sistema. (Figura 2.10)



Figura 2.7: Módulos electrónicos que componen el sistema de acondicionamiento de la señal sísmica junto con el sismómetro de la estación de Cercedilla.



Figura 2.8: Módulos electrónicos que componen el sistema de acondicionamiento de la señal sísmica de la estación de Cercedilla.



Figura 2.9: Detalle del conversor analógico/digital (ADC) averiado.

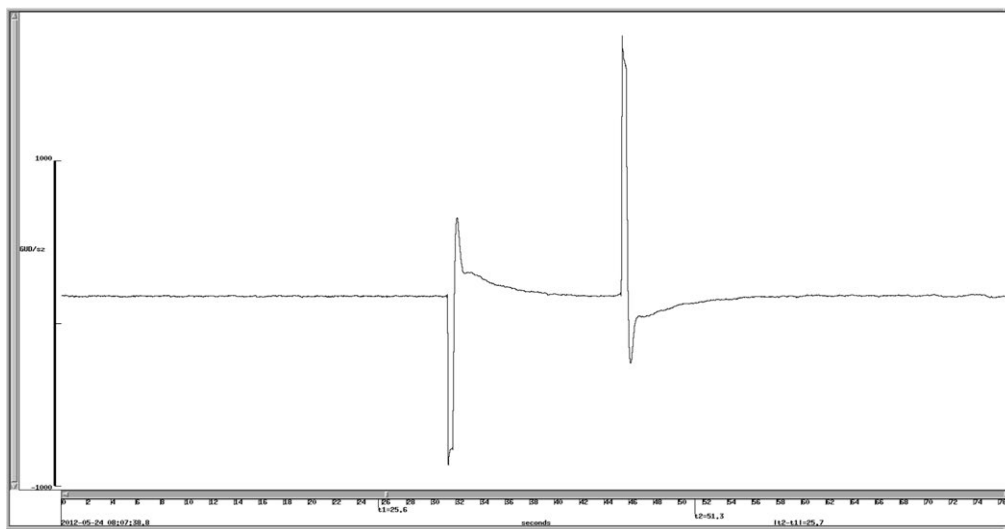


Figura 2.10: Imagen de un pulso de calibración en una estación analógica.

Se representa a continuación en la figura 2.11 un diagrama de bloques del recorrido y tratamiento aplicado a la señal, en cada uno de los distintos elementos de la estación sísmica de corto periodo y componente vertical de Cercedilla, que se han descrito anteriormente:

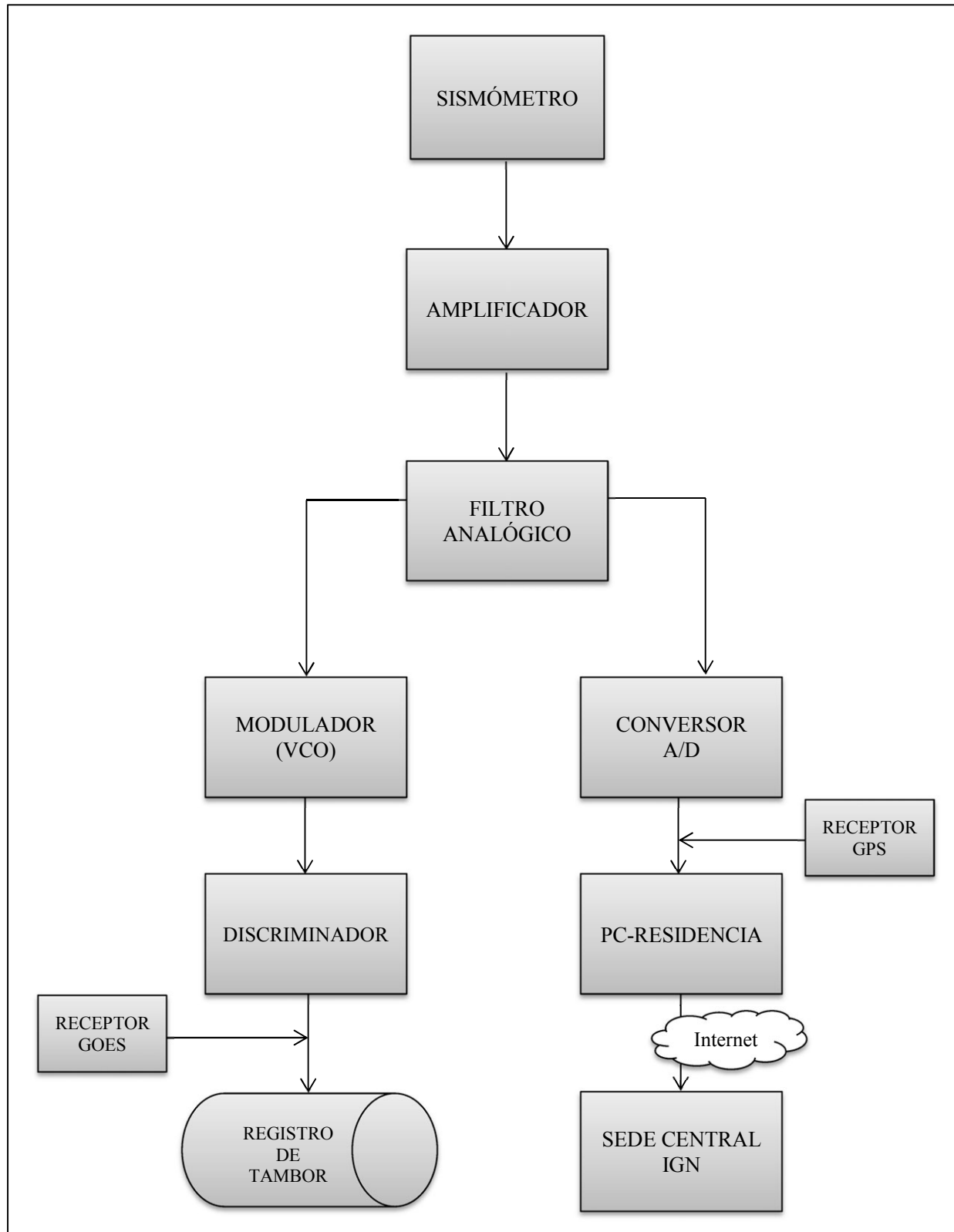


Figura 2.11: Diagrama de bloques del recorrido y tratamiento aplicado a la señal en cada uno de los distintos elementos de la estación sísmica de corto periodo y componente vertical de la Residencia "Lucas Olazábal" en Cercedilla.

Por un lado, la señal procedente del sismómetro, amplificada y filtrada, pasa a un modulador de frecuencia (VCO) para su transmisión analógica vía cable hasta el puesto central de registro en el edificio de la propia Residencia “Lucas Olazábal”. En este puesto central de registro se lleva a cabo el proceso inverso al realizado en la estación sísmica, donde la señal FM recibida se demodula mediante un sistema discriminador (Figura 2.12), que consiste en un conversor de frecuencia a voltaje (FVC) para eliminar la portadora y recuperar la señal sísmica. Previo paso por amplificador de ganancia variable, la señal pasa a ser registrada en un tambor registrador gráfico sobre papel termosensible, produciendo las gráficas amplitud-tiempo llamadas sismogramas (Figura 2.13) que actúan como monitor permanente de la actividad sísmica, **Mezcua (1995)**. Además de las trazas de velocidad, el sistema de tiempo se obtiene mediante un reloj que recibe las señales de sincronismo del satélite GOES, con superposición de marcas de referencia gráficas muy precisas cada minuto y cada hora. Sin embargo, se pudo comprobar que no se recibía GOES y por tanto las marcas gráficas no estaban en hora.



Figura 2.12: Gabinete de telemetría en el puesto central de registro en la Residencia “Lucas Olazábal” formado por: reloj satélite, discriminadores y tambor registrador gráfico.

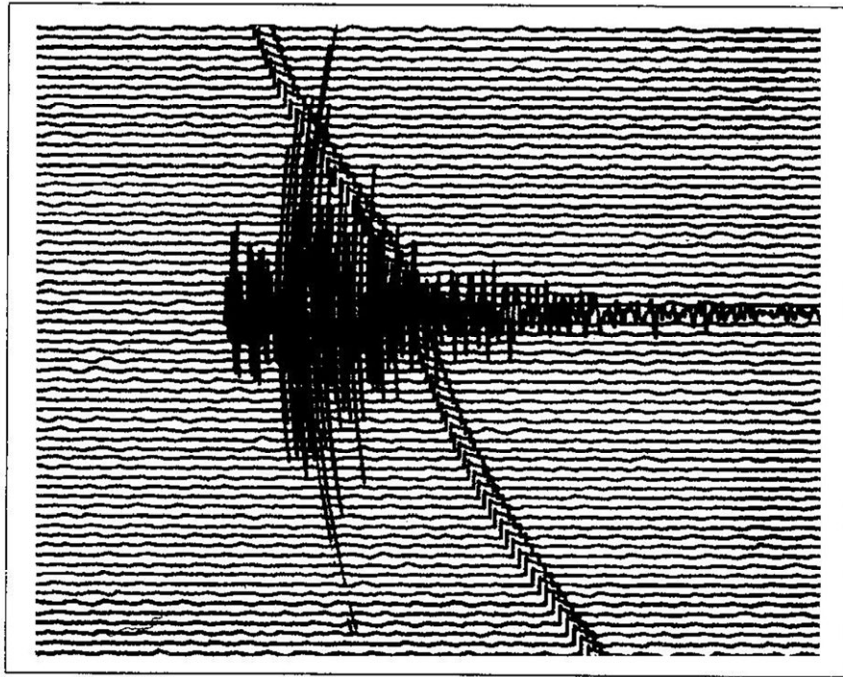


Figura 2.13: *Imagen del registro analógico (sismograma) en una estación de corto periodo.*

Por otro lado, la señal procedente del sismómetro se trata en paralelo y es introducida en un conversor analógico/digital con una frecuencia de muestreo de 100 Hz del que se obtiene la señal sísmica en forma digital. La estación cuenta con un receptor GPS, que permite asignar una referencia de tiempo en origen que viaja, junto con la señal digital a través de un canal de comunicaciones digital, hacia el ordenador instalado en el puesto central de registro, en el edificio de la Residencia “Lucas Olazábal” (PC-RESIDENCIA), y desde aquí hasta la sede central del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en Madrid, vía Internet, para que se lleve a cabo el procedimiento de análisis y procesamiento de datos en la Red Sísmica Nacional (RSN), **Rueda (1995)**.

Sin embargo, tal y como se adelantó en la introducción del presente trabajo, el día de la visita a las instalaciones de la Residencia “Lucas Olazábal” en Cercedilla (Madrid), se pudo comprobar cómo algunos de los componentes que integran la instrumentación de la estación sísmica de corto periodo se encontraban averiados, lo que impedía que la señal sísmica registrada se recibiese en el IGN.

Durante dicha visita estuvimos acompañados por un Ingeniero en Telecomunicaciones de la empresa Ofiteco, Juan Ramón de Torre, con el objetivo de llevar a cabo las tareas de revisión y puesta a punto de la instrumentación. Se pudo comprobar in situ que el convertidor analógico-digital (ADC) y el receptor GPS no funcionaban correctamente. Juan Ramón desmontó ambos módulos para poder realizar

un chequeo más exhaustivo de la posible avería. Se pudo verificar que el origen del problema en el convertidor analógico-digital (ADC) residía en la fuente de alimentación, ya que un aumento de temperatura hacía disminuir la tensión desde 24 V a 3.5 V en pocos minutos. Por otro lado pudo comprobar que evidentemente existía un problema en el receptor GPS, ya que éste no emitía señal TTL², ni de datos NMEA0183³ ni de posicionamiento preciso (PPS⁴). Alternativamente se probó a conectar al receptor GPS una antena en un área exterior despejada y durante varias horas, lo cual descartaría que el problema fuese debido a que la batería se hubiese descargado y se hubiese perdido el almanaque, pero el GPS continuaba sin emitir señal.

En definitiva, se planteó que la reparación de las averías en la instrumentación y su reinstalación supondrían una demora en el tiempo que retrasaría considerablemente la realización del presente trabajo, por lo que se tomó la decisión de descartar temporalmente esta estación sísmica como fuente de registro y envío de datos en tiempo real y utilizar en su lugar los datos digitales registrados y almacenados por la estación sísmica GUD de transmisión digital GPRS/UMTS y sismómetro de banda ancha, que pertenece al Instituto Geográfico Nacional y se encuentra instalada en la Sierra de Guadarrama (Madrid). No obstante, la idea de la reparación y puesta en marcha de la estación sísmica de Cercedilla, cedida por parte del IGN a la Universidad Politécnica de Madrid, ha sido aprobada con el fin de que en un futuro sustituya a la estación sísmica GUD y se pueda aprovechar la señal que registra.

² **TTL**: es la sigla en inglés de transistor-transistor logic, es decir, "lógica transistor a transistor". Es una familia lógica o lo que es lo mismo, una tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales. En los componentes fabricados con tecnología TTL los elementos de entrada y salida del dispositivo son transistores bipolares.

³ **NMEA0183**: protocolo definido y controlado por la organización estadounidense National Marine Electronics Association, a través del cual la mayoría de los receptores GPS y otros instrumentos de navegación y/o marítimos se pueden comunicar entre sí y entre otros sistemas controladores, PC's, etc.

⁴ **PPS**: es un servicio militar de gran exactitud para posicionamiento, velocidad y tiempo, disponible para usuarios autorizados por el departamento de defensa de los Estados Unidos. El equipo de usuario PPS proporciona una exactitud predecible. Solo pueden recibir este servicio usuarios con equipo y claves criptográficas, así como receptores con equipo especial.

2.2. ESTACIÓN SÍSMICA DE BANDA ANCHA DE GUADARRAMA (GUD)

La estación sísmica de banda ancha denominada internacionalmente GUD ha sido la empleada como fuente de los datos sísmicos a partir de los cuales ha sido posible el desarrollo del presente trabajo. La estación sísmica GUD se instaló en el año 1979 en una cueva bajo la capilla de la Basílica del Valle de los Caídos, que se ubica en la localidad de Guadarrama (Madrid), cuyas coordenadas geográficas y altitud son las que figuran a continuación (Tabla 2.1). En la figura 2.14 se muestra un plano de situación.

Estación	Latitud	Longitud	Elevación	Fecha Alta
GUD	40.6430	-4.1537	1268	01/07/1979

Tabla 2.1: Coordenadas geográficas donde se ubica la estación GUD en Guadarrama (Madrid)



Figura 2.14: Plano de situación de la Basílica del Valle de los Caídos en Guadarrama (Madrid)

Originariamente desde el año 1979, la estación sísmica GUD disponía de un sismómetro de corto periodo. Sin embargo, el avance en las comunicaciones y en la instrumentación sismológica hizo que el Instituto Geográfico Nacional en el año 1998 desarrollara una nueva red que sustituyó a la red de transmisión analógica del año 1982, con el objetivo de obtener datos digitales de alta resolución mediante estaciones

sísmicas de tres componentes, con un gran ancho de banda y alto rango dinámico. Así pues, la estación sísmica de corto periodo fue sustituida por una estación de banda ancha, actualmente formando parte de la Red Digital de Banda Ancha y transmisión digital del Instituto Geográfico Nacional cuando se llevó a cabo el proyecto RESIDE⁵.

Como en el resto de estaciones de esta red, a partir de los datos adquiridos por la estación sísmica se ofrece la posibilidad de efectuar un análisis más completo de las formas de onda que los realizados con sistemas convencionales que trabajan con señales de periodo corto, y además son procesados interactivamente en el ordenador fácilmente.

La razón de haberse extendido su uso se debe entre otras causas a la creciente aparición de programas de tratamiento así como la comercialización de sensores de banda ancha, estables y sencillos de instalar, y la capacidad de transmisión de señales.

Según **Peterson y Hutt (1989)**, el objetivo más importante de las estaciones de banda ancha tipo GSN (Global Seismograph Network) es el de registrar linealmente el espectro de toda la señal de eventos telesísmicos de cualquier magnitud en un sólo canal. Esto puede conseguirse con un ancho de banda suficientemente grande para registrar a la vez señales de ondas internas a distancias telesísmicas y oscilaciones libres de frecuencias muy bajas, y a la vez un rango dinámico que se extienda desde las amplitudes correspondientes al ruido de fondo y las correspondientes a las ondas superficiales de los terremotos más grandes que puedan registrarse. Con anterioridad al despliegue de la red sísmica de banda ancha, la captación de señales sísmicas se realizaba en dos bandas denominadas corto periodo y largo periodo, y era necesaria una amplificación de señales, no de forma lineal para todo el espectro sino restringida a dichas bandas de frecuencia. Esta amplificación selectiva se hizo porque la técnica del momento no era capaz de amplificar de forma uniforme en todo el espectro y además era necesario filtrar el ruido macrosísmico no sísmico mediante una selección

⁵ **RESIDE**: en 1998 el Instituto Geográfico Nacional diseñó la transformación de la antigua Red Sísmica Nacional para conseguir la renovación y actualización de la misma. Por ello se redactó un proyecto denominado Red Sísmica Digital Española (RESIDE) que contemplaba el desarrollo gradual de una nueva red de estaciones sísmicas digitales de tres componentes cubriendo todo el territorio nacional, mediante un cambio paulatino de las estaciones de la red de corto periodo y transmisión telefónica por otras de Banda Ancha y conexión digital en tiempo real vía satélite (primera fase) y otras vía telefónica tanto en tiempo real como por interrogación (segunda fase), formando una red de estaciones equiespaciadas y haciendo compatible su estructura con la de las redes locales pertenecientes a otras instituciones. Esta red mejoró las funciones de vigilancia sísmica (detección, identificación y evaluación en tiempo real de los terremotos que ocurren en territorio nacional y áreas adyacentes) y proporciona datos de alta calidad para el estudio de los fenómenos sísmicos y de la peligrosidad sísmica del territorio español, haciendo posible el desarrollo de nuevas investigaciones por las comunidades técnica y científica.

de bandas de frecuencia. Para cubrir esta deficiencia, a partir de ese momento hasta la actualidad, la técnica ha permitido la utilización de sensores de banda ancha para el registro y análisis de señales sísmicas. En la figura 2.15 se muestra la curva de respuesta del sismómetro de banda ancha de la estación sísmica GUD.

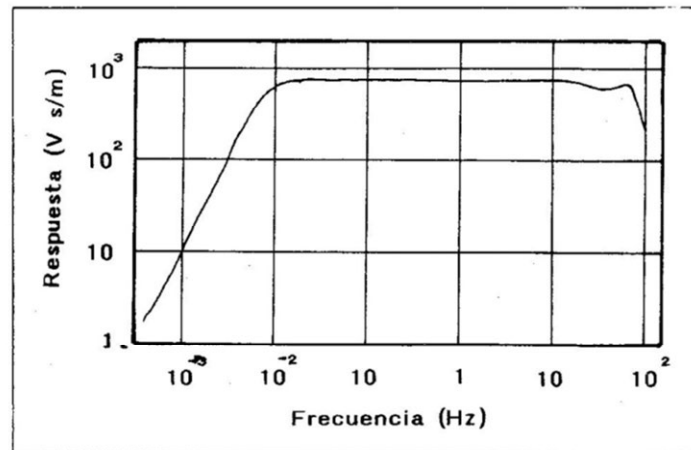


Figura 2.15: Curva de respuesta del sismómetro de banda ancha de la estación sísmica GUD.

Según **IRIS (1985)**, las características que debe reunir un sismógrafo de banda ancha son:

- La sensibilidad debe ser capaz de resolver señales sísmicas al nivel de mínimo ruido natural de la estación en todo el espectro telesísmico (0,3 mHz - 10 Hz)
- El rango de trabajo debe permitir el registro sin saturación de las mayores señales telesísmicas posibles.
- El mayor ruido que previsiblemente ocurra en cualquier parte del espectro sísmico no debe interferir con la resolución de pequeñas señales en otras frecuencias.

Sus tres componentes este (E), norte (N) y vertical (Z) permiten detectar el movimiento del terreno tanto vertical como los movimientos horizontales, orientados Norte-Sur y Este-Oeste (Figura 2.16)

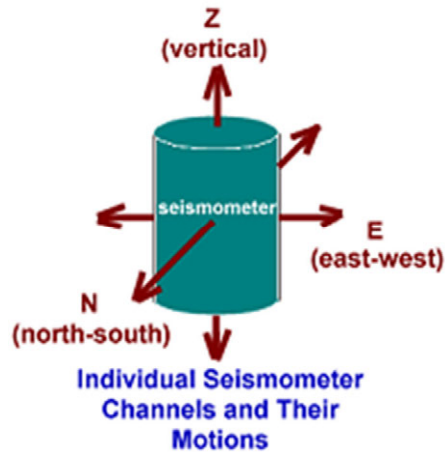


Figura 2.16: Esquema de un sismómetro de tres componentes.

La estación sísmica GUD en la actualidad es de banda ancha, y se diferencia fundamentalmente de la estación sísmica de corto periodo de Cercedilla en el empleo de un sismómetro que se caracteriza por tener una respuesta en frecuencia mucho más amplia que la anterior, llegando a abarcar un rango de frecuencias de 0,01 – 50 Hz. Además presenta la ventaja de tener un mayor rango dinámico, lo cual hace que sea el instrumento ideal para estudio tanto de sismos locales y regionales (sismos próximos), como los ocurridos a grandes distancias (sismos lejanos o telesismos), así como de magnitud media y alta sin sufrir saturación. Hemos explicado anteriormente que los sismómetros de corto periodo se refieren a sensores con respuesta plana entre 1 y 50 Hz, pero son frecuentes los casos de terremotos lejanos con frecuencias menores a 1 Hz, y por tanto al utilizar sólo sismómetros de periodo corto se estaría perdiendo parte de la información. En cuanto a la selección de los emplazamientos de las estaciones sísmicas, hay que destacar que es una decisión que influye notablemente en la calidad de los datos sísmicos. La estación sísmica GUD está instalada en un lugar recóndito para minimizar las condiciones de ruido vibratorio de fondo de origen ambiental (viento, cursos de agua, topografías desfavorables, cambios térmicos, condiciones atmosféricas, etc.) y lejos (distancias > 1,5 km) de núcleos urbanos y de fuentes de ruido cultural (tráfico, maquinaria, actividades agrícolas e industriales, tendidos eléctricos, etc.) y las que genera la propia instalación (por las antenas, placas solares, vallado, etc.), (Figuras 2.17 y 2.18). El pilar en el que se ubica el sensor, en contacto directo con la roca, está construido con hormigón rico en cemento, bien vibrado, con árido fino y ausencia total de armadura para evitar las pequeñas contracciones. El sensor se encuentra depositado en un zócalo metálico para evitar su desplazamiento y cubierto con una campana de metacrilato que sirve de aislamiento térmico y de humedad.



Figura 2.17: Acceso desde el suelo de la Basílica a la galería que conduce a la instrumentación que conforma el sistema de adquisición sísmológica de GUD.



Figura 2.18: Cámara al final de la galería, emplazamiento de la instrumentación que conforma el sistema de adquisición sísmológica de GUD y su enlace con el sistema de comunicaciones.

2.2.1. Instrumentación de GUD

La instrumentación de la estación GUD (figura 2.19) está compuesta por:

1. Un sistema remoto de adquisición de información sísmológica (sismómetro, conversor analógico/digital y módulo de calibración automático), junto con un sistema de alimentación y almacenamiento. Está instalado en una cámara (la Cueva) bajo la capilla de la Basílica, como puede verse en la figura 2.18.
2. Un sistema de tiempo y un sistema de comunicaciones, instalado en una caseta junto a la estatua de La Piedad.
3. Antena-receptor GPS y antena GPRS/UMTS, instaladas en el exterior junto a la estatua de La Piedad.

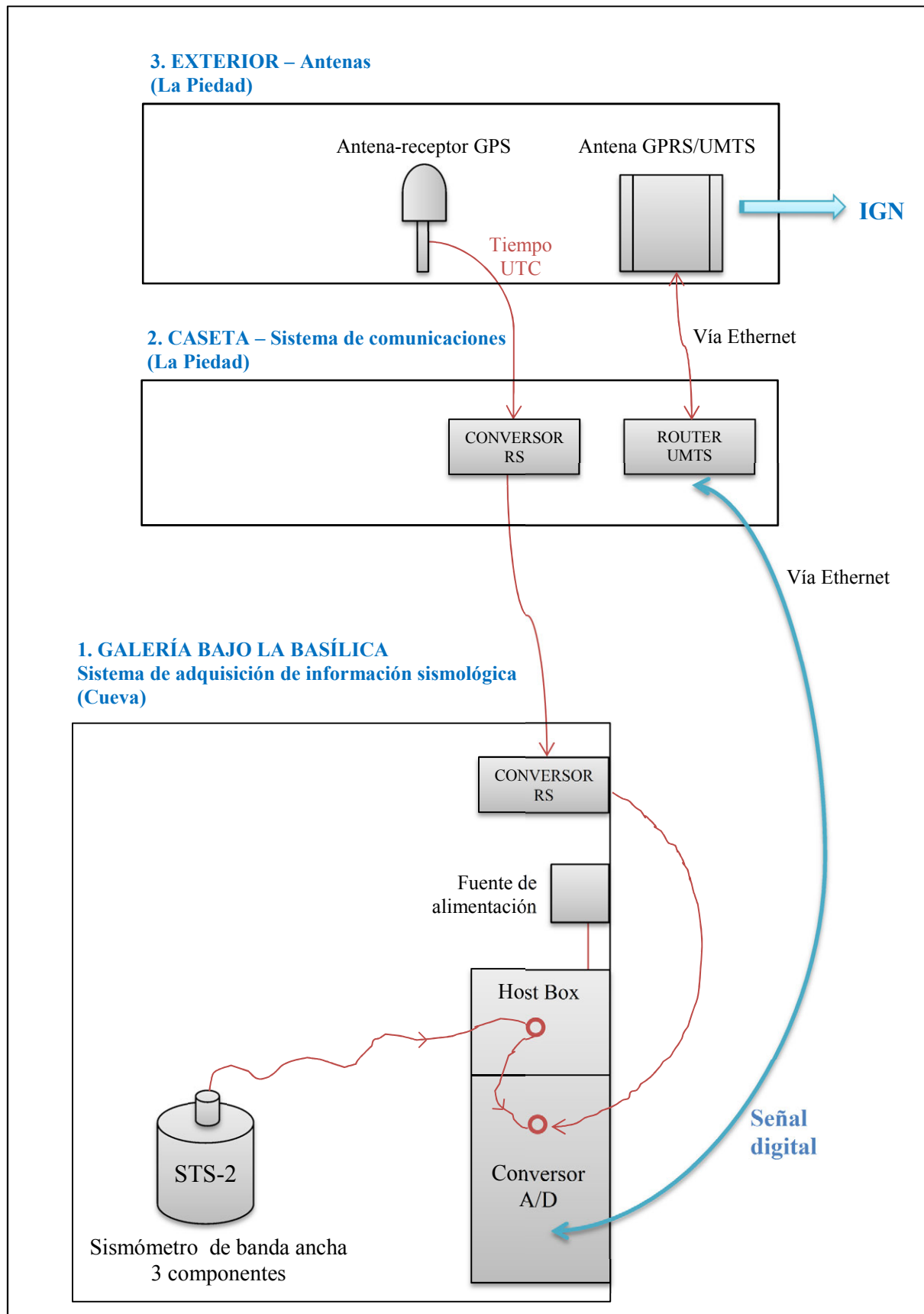


Figura 2.19: Esquema de la instalación de la estación sísmica GUD en la Basílica del Valle de los Caídos en Guadarrama.

2.2.2. Sistema de adquisición de información sísmológica

- Sismómetro: el sensor sísmico digital de banda ancha instalado es el Streckeisen STS-2 (Figura 2.20), de tres componentes, con un ancho de banda de 0,01 - 50 Hz, frecuencia natural de 0,0083 Hz (120 s), retroalimentado, con una gran sensibilidad que puede alcanzar hasta los 1.500 V/s/m^{-1} , con un rango de operación de $\pm 13 \text{ mm/s}$ y cuyo mecanismo se basa en bobinas de inducción de corriente. No se requiere en este caso amplificador, ya que el sensor es activo y la señal a su salida es de nivel adecuado. Con un rango dinámico de 130 dB, permite registrar sin distorsión ni saturación, movimientos sísmicos de magnitud muy baja, baja, media y alta. La curva de respuesta de este sismómetro puede verse reflejada en la figura 2.21. El consumo de potencia es considerablemente bajo, de 0,75 W. El sismómetro permite realizar el control de centrado de masas a través del Host Box.
- Conversor analógico/digital: se trata de un digitalizador Guralp CMG-DM254S-3 EAM, DAS-324-SAG00 (Figuras 2.22 y 2.23), de tres canales y 24 bit colocado junto al sensor, con sobremuestreo y procesamiento digital de la señal (DSP). La razón de muestreo es de 100 mps en cada canal con posibilidad de diezmado. La razón de muestreo es elegida a partir del rango de frecuencias de la señal de entrada. Siguiendo la regla de muestrear como mínimo al doble de la frecuencia de la señal, la elección de 100 mps es suficiente para recuperar la señal y asegurar que está contenido todo el rango de frecuencias de uso normal en sismología. De forma general, hay que tener en consideración que una mayor razón de muestreo supone una mayor calidad o precisión, por lo que hay que llegar a un compromiso entre las necesidades de la red y la capacidad de almacenamiento disponible en el centro de recepción y transmisión de datos.
- Módulo de calibración: este módulo introduce cada 24 horas, un pulso de corriente continua, de valor conocido, que alimenta la bobina de calibración del sensor. La respuesta del sistema a esta señal registrada en el centro de recepción de datos permite detectar de un modo rápido la existencia de problemas en la estación, o bien realizar una calibración del

sistema. Así pues, este módulo de calibración y control de la transmisión asegura la calidad de los datos, vigila el funcionamiento interno de la estación y la necesidad de correcciones o mantenimiento. (Figura 2.24).

El sistema de adquisición de información sísmológica enlaza con el sistema de comunicaciones a través del panel de conexiones fijado en el muro (Figura 2.25).



Figura 2.20: Imagen del sismómetro Streckeisen STS-2 (carcasa verde), instalado sobre un zócalo metálico para evitar su desplazamiento y cubierto con una campana de metacrilato que sirve de aislamiento térmico y de humedad. En el mismo pilar se encuentra instalado el sismómetro de corto periodo de una estación analógica, también operativo.

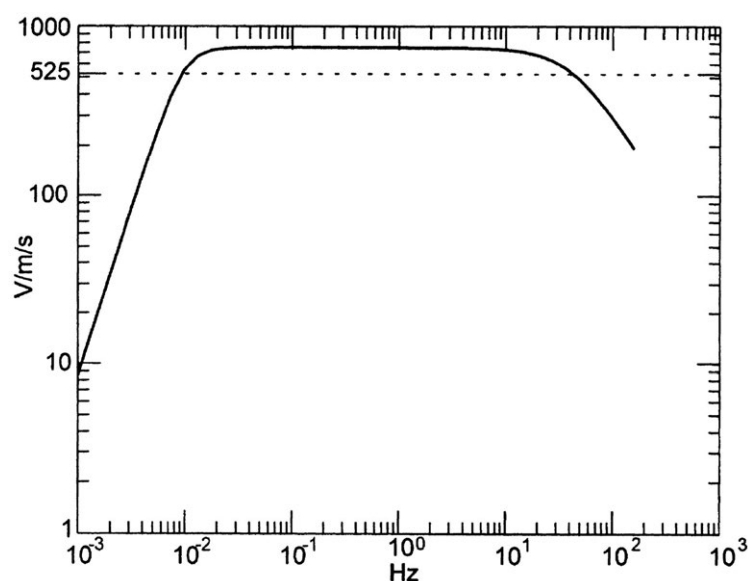


Figura 2.21: Imagen de la curva de respuesta teórica del sismómetro Streckeisen STS-2 definida por su función de transferencia, en la estación de banda ancha GUD. La respuesta se expresa en V/m/s como una función de la frecuencia. La línea al nivel de 525 V/m/s que corta a la curva de respuesta a 0,01 y 42Hz, delimita la parte plana del ancho de banda.



Figura 2.22: Imagen del digitalizador Guralp y sus conexiones con la fuente de alimentación, la señal de tiempo GPS, la entrada de datos del sensor STS-2 después de pasar por el Host box (carcasa verde al fondo) y la comunicación bidireccional de envío de datos con el sistema de comunicaciones GPRS/UMTS.



Figura 2.23: Detalle de la entrada de datos analógicos del sensor al Host box mediante el cable naranja, y de ahí al conversor A/D (digitalizador Guralp).

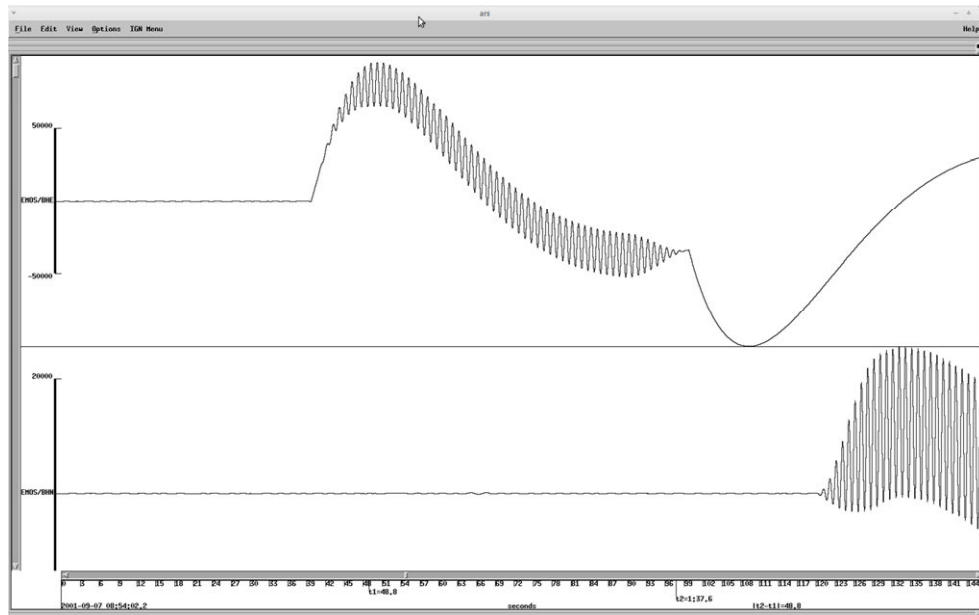


Figura 2.24: Imagen de un pulso de calibración en una estación digital.

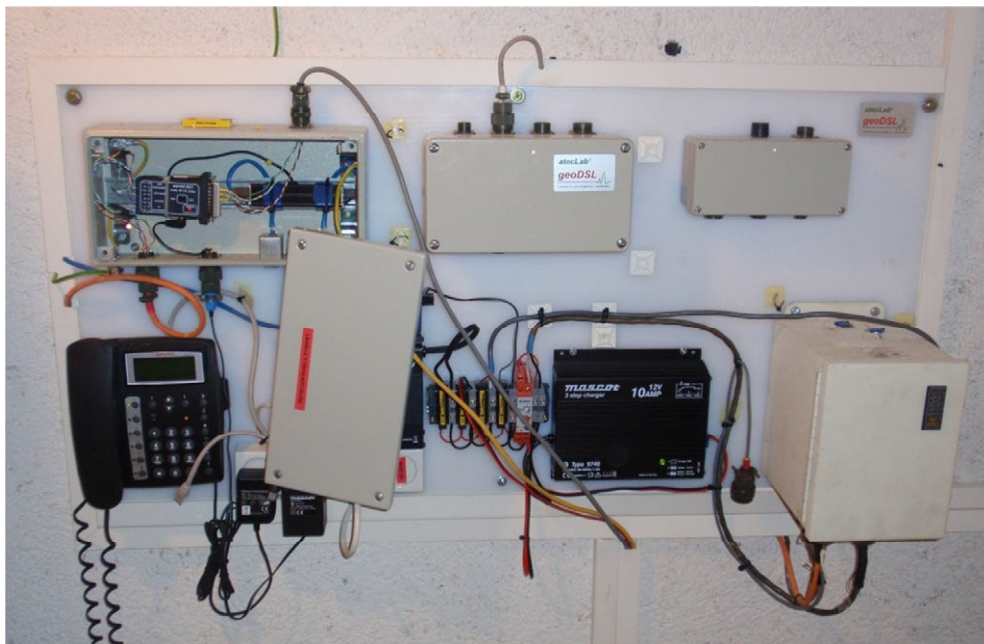


Figura 2.25: Cuadro de conexiones que enlaza el sistema remoto de adquisición de información sísmológica con el sistema de comunicaciones en la caseta de La Piedad. .

2.2.3. Sistema de almacenamiento

Existe un sistema de almacenamiento de la señal con una memoria RAM de 560 Kb que asegura la ausencia de pérdida de datos, posibilitando la recuperación de los datos registrados en campo cuando se interrumpe la vía de comunicación con el IGN.

2.2.4. Sistema de alimentación

El suministro de energía al equipo se realiza mediante corriente alterna de 220 V que alimenta a unas baterías alternativas de 12 V, las cuales permiten un funcionamiento ininterrumpido durante 4 días en caso de corte de suministro eléctrico.

2.2.5. Sistema de tiempo

El sistema de tiempo es un oscilador compensado en temperatura y sincronizado en fase con la recepción de la señal de los satélites de posicionamiento GPS (Global Position System) para proporcionar una referencia de tiempo UTC⁶ asignada en origen. Se dispone de una antena de GPS que captará la señal de reloj enviada a través de satélite, la cual se prepara para su entrada en la caja transmisora mediante un receptor GPS. El receptor GPS (Figuras 2.26 y 2.27) consiste en una antena activa que tiene de 8 a 10 canales de recepción de la señal GPS y necesita que al menos estén enganchados 3 ó 4 canales para que proporcione una señal de tiempo aceptable. Se conecta a la tarjeta de control del módulo de comunicaciones con la misión de estabilizar la frecuencia del oscilador local de cristal que hay en el sistema.

La comunicación GPS-Digitalizador de datos es unidireccional y se realiza utilizando en la Piedad un conversor RS232-RS422, y después en “la Cueva” se vuelve a convertir RS422-RS232 (Figura 2.28). Cada dato digital se etiqueta con el tiempo UTC que proporciona esta antena y viaja a través del canal de comunicaciones GPRS/UMTS hacia el centro de recepción de datos en el IGN.

⁶ **UTC:** *Universal Time Coordinated* o Tiempo Universal Coordinado es el tiempo de la zona horaria de referencia respecto a la cual se calculan todas las otras zonas del mundo y que pasó a ser sucesor del tiempo promedio del Observatorio de Greenwich, en Londres (GMT) en el año 1972, el cual no es determinado por el Sol o las estrellas sino por relojes atómicos.



Figura 2.26: Antena receptora GPS (forma de seta) y antena GPRS/UMTS (forma plana rectangular), instaladas junto a la estatua derecha La Piedad.



Figura 2.27: Vista general del emplazamiento donde están instaladas las antenas GPS y GPRS/UMTS de la estación GUD, en La Piedad derecha.



Figura 2.28: Detalle del conversor RS422-RS232 de RS y con sus respectivas protecciones Ethernet, instalado en el panel de conexiones de “la Cueva”.

2.2.6. Sistema de comunicaciones

La comunicación bidireccional de envío de datos y configuración entre el digitalizador en “la Cueva” y el sistema de comunicaciones GPRS/UMTS (Figura 2.25) se realiza a través de Ethernet, utilizando unos 300 m de cable par trenzado de alta calidad, con un switch intermedio y protectores contra subidas de tensión en los extremos.

El sistema de comunicaciones, a través del cual son enviadas la señal sísmica digitalizada junto con su referencia de tiempo universal, desde la propia estación sísmica GUD hacia el centro de recepción de datos sísmicos en la sede central del IGN en Madrid, está formado por los siguientes elementos (Figura 2.29):

- Una unidad de gestión de comunicaciones
- Un transceptor telefónico
- Enlace de fibra óptica
- Enlace GPRS/UMTS

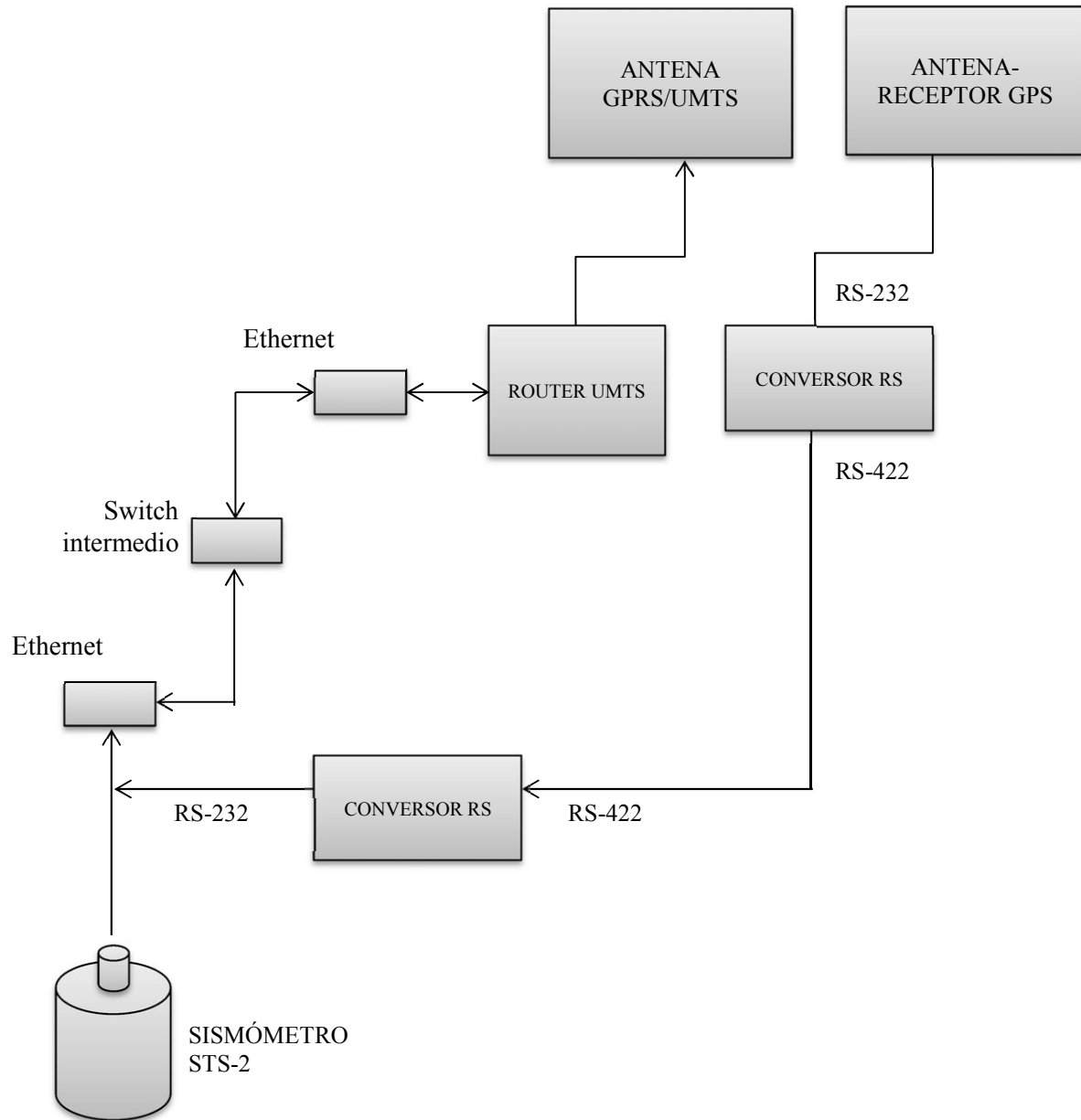


Figura 2.29: Diagrama de bloques que representa el sistema de comunicaciones de la estación GUD.

2.2.7. Ruido sísmico de GUD

A continuación se realiza una clasificación general de las causas y la naturaleza del ruido sísmico de fondo en una estación:

- Ruido cultural: la fuente más común del ruido sísmico proviene de la actividad del hombre sobre la superficie de la Tierra. Se origina principalmente por el registro de la propagación de las ondas sísmicas que es producida por el paso de vehículos y vibración de maquinarias industriales que se encuentran relativamente cerca de una estación sísmica. El ruido cultural se propaga principalmente como ondas superficiales de alta frecuencia ($>1-10$ Hz, 1-0,1s) que se atenúan a varios kilómetros de distancia y profundidad. Por esta razón el ruido cultural se reduce significativamente si se evalúan los niveles de ruido sísmico en pozos profundos y túneles. El ruido cultural muestra fuertes variaciones diurnas y tiene frecuencias características que dependen de la fuente de la perturbación.
- Ruido geológico, viento y agua: los objetos acoplados a la tierra se mueven cuando responden a la acción del viento, y este movimiento puede ser fuente importante del ruido sísmico. En general, la turbulencia del viento alrededor de las irregularidades de la topografía y el movimiento del árbol acoplado a la tierra a través de sus raíces, generarán señales de ruido de alta frecuencia. Además, el viento que actúa en objetos grandes, tales como torres y postes del teléfono, puede causar ruido de período más largo. Como fuentes adicionales a este tipo de ruido pueden incluirse las corrientes de agua, olas y actividad volcánica.
- Microsismos: los microsismos se definen como las oscilaciones naturales y regulares del subsuelo, que no son producidas por los terremotos ni por fuentes artificiales como el tráfico o la maquinaria industrial, si no que son inducidas por fuentes naturales como las olas oceánicas y tormentas, y por tanto las características de la amplitud y del periodo son afectadas por la condición del clima. Este tipo de ruido está compuesto principalmente por ondas Rayleigh de periodo relativamente largo (2-3s), y aparece en los registros de todos los sismógrafos, demostrando que la corteza terrestre está en continuo estado de agitación.

- Influencia del instrumento: este tipo de ruido se genera por cambios de estabilidad del equipo por efectos de la presión barométrica en el sensor (ruido térmico), efectos no lineales en la fuerza de suspensión sobre la masa, ocasionada por el hecho de estar en continuo movimiento (los elementos en suspensión se doblan), o durante el proceso de digitalización (rango dinámico limitado del convertidor analógico/digital). El instrumento puede presentar ruidos de alta potencia pero de baja probabilidad, y su conocimiento resulta importante y útil para el operador de la red. Por ejemplo, existen espacios vacíos de datos que pueden ser debido a la falta de transmisión de la señal y/o a la mala posición de la masa del sensor (mala calibración). Para tener una información sísmica de calidad, es necesario eliminar de todas las señales sísmicas el efecto instrumental, para así recuperar el impulso original emergente del terreno. Para ello se realiza el proceso de la deconvolución ó corrección instrumental.
- Ruidos periodo corto: estos ruidos presentan altas frecuencias con rangos que se encuentran entre 0,3 a 10 Hz, y en general, son producidos por la respuesta de las condiciones geológicas de las estructuras sobre las cuales se encuentra ubicada la estación sísmica en referencia. Además este tipo de ruido tiene que ver con la actividad diaria del hombre y los cambios bruscos de temperatura durante el día y la noche. También se debe considerar como ruidos de periodo corto a los producidos por las explosiones en las minas, el paso de camiones en las carreteras, o por la inducción del viento sobre la estación sísmica con rangos de frecuencia mayores a 10 Hz. Este tipo de ruido suele ser importante si en las cercanías de la estación hay vegetación o montañas. Para evitar al máximo las perturbaciones de periodo corto sobre los sensores, es recomendable acondicionarlos en pozos aislantes sobre roca dura y a una relativa profundidad.
- Ruidos periodo largo: este tipo de ruido se caracteriza por presentar bajas amplitudes y largos periodos (10-300s) y se presentan con mayor amplitud en las componentes horizontales del registro. Las causas de origen de este tipo de ruido son las fluctuaciones barométricas en la zona donde se encuentra la estación sísmica, y son producidas por los cambios

gravitacionales inducidos por frentes atmosféricos fríos y de calor que perturban directamente a los sismómetros, según **Muller y Zurn (1983)**. Las ondas largas con frecuencias típicas que varían entre 0,001 a 0,05 Hz, juegan un rol importante en muchos procesos sedimentarios de la costa y en aguas poco profundas, donde se ha demostrado que la energía del espectro de ondas tiene predominio de ondas de periodo largo. Para reducir este tipo de ruido y facilitar los estudios sobre el contenido de periodos largos en los registros de eventos sísmicos de moderado tamaño, se requiere simultáneamente registrar las variaciones de la presión barométrica cerca del sismómetro y luego sustraer con una función apropiada su interferencia en la señal. En general, se considera que los ruidos de periodo largo son debidos a la acción de las ondas oceánicas sobre las costas con frecuencias de 0,07 Hz.

Una herramienta para evaluar la calidad de las señales recibidas desde cada una de las estaciones sísmicas es el análisis espectral del ruido ambiente. Este puede realizarse mediante el cálculo de la densidad de la potencia espectral (PSD) para una señal transitoria generada por el ruido sísmico de fondo. Luego ésta se compara con las curvas de referencia superpuestas de máximo (HNM) y mínimo (LNM) ruido admisible, definidas por **Peterson (1993)**, las cuales definen la densidad de potencia espectral representativa del ruido sísmico, en condiciones de alto y bajo nivel de ruido respectivamente, para una estación típica situada en un emplazamiento de roca dura, alejada de la actividad del hombre y en ausencia de fuerte viento.

En las figuras 2.30, 2.31 y 2.32 se muestra el análisis de los registros de ruido sísmico para cada una de las tres componentes de la estación GUD desde Octubre de 2008, actualizado a día 29 de Mayo de 2012 y realizado según la técnica de **Mcnamara y Buland (2004)**. Según esta técnica se analizan de forma continua y automática los registros de ruido sísmico en ventanas temporales de media hora, donde los resultados son automáticamente actualizados, de forma acumulativa, una vez al día. En cada gráfico se han superpuesto las curvas de máximo (HNM) y mínimo (LNM) ruido admisible.

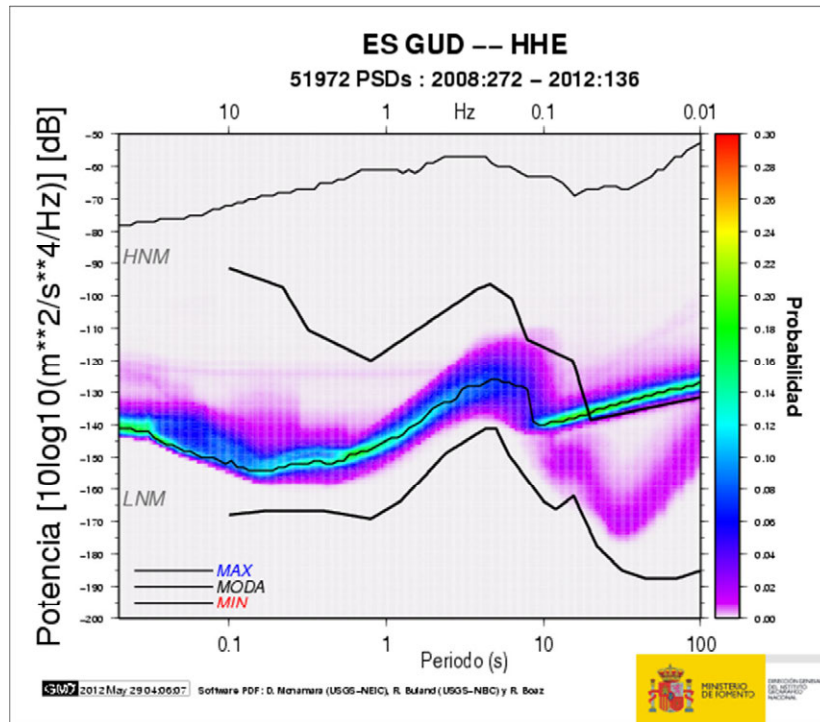


Figura 2.30: Análisis espectral del ruido ambiente de GUD (componente E)

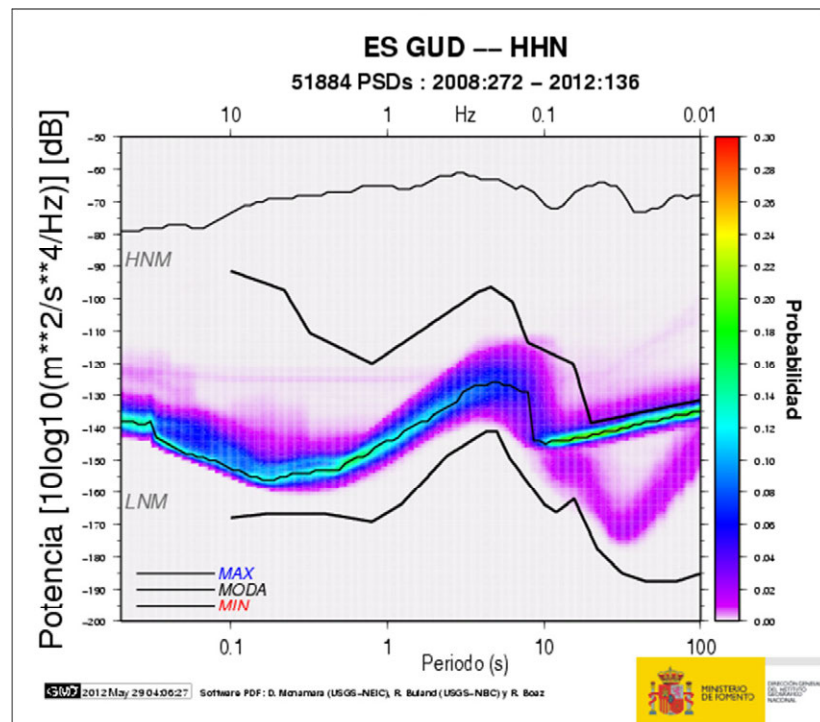


Figura 2.31: Análisis espectral del ruido ambiente de GUD (componente N)

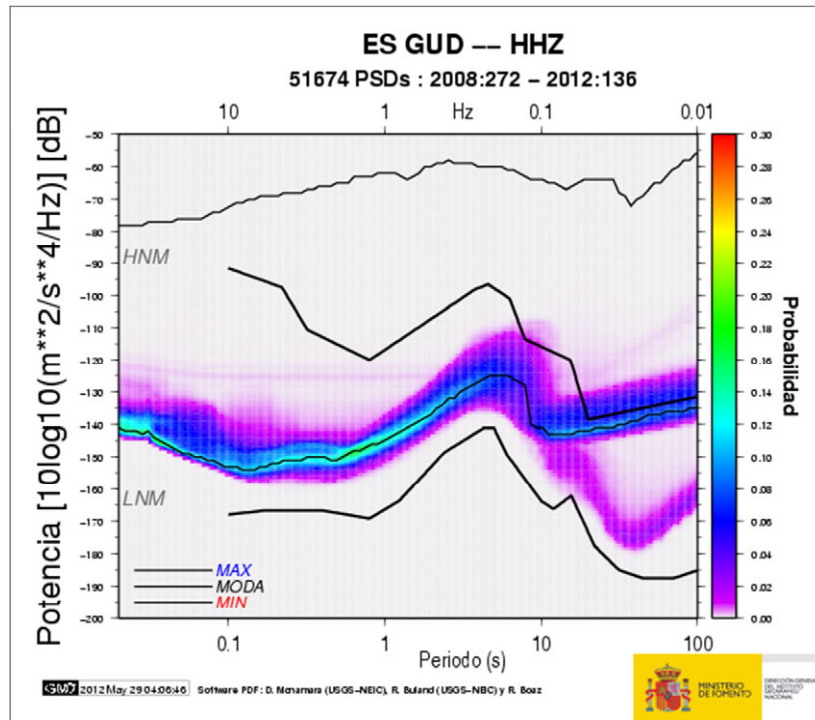


Figura 2.32: Análisis espectral del ruido ambiente de GUD (componente Z)

Se muestra en las anteriores figuras el análisis espectral del ruido ambiente para cada componente de la estación sísmica GUD, y se observa que en todos los casos los espectros resultantes se encuentran dentro de las curvas de **Peterson (1993)** en el rango de 0,01 a 50 Hz, por lo que se deduce que puede considerarse apto el emplazamiento de dicha estación. Además se puede observar el bajo nivel de ruido de esta estación para todo el ancho de banda del sensor.

Se aprecia en la parte derecha de los tres gráficos un desdoblamiento en el nivel espectral de ruido ambiente analizado y registrado. La rama más próxima a la curva de mínimo ruido admisible (LNM) se corresponde con el cambio al sensor de banda ancha. Como puede deducirse a partir del análisis de los resultados, este tipo de sensor es más óptimo para registrar las señales de ondas internas a distancias telesísmicas y oscilaciones libres de frecuencias muy bajas, en comparación con el sensor de corto periodo.

3. TRANSMISIÓN DE DATOS SÍSMICOS EN TIEMPO REAL

La estación sísmica GUD es una estación sísmica de transmisión digital GPRS/UMTS. El sistema de comunicaciones a través del cual son enviadas la señal sísmica digitalizada junto con su referencia de tiempo universal, desde la propia estación hacia el centro de recepción de datos sísmicos en la sede central del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en Madrid, está basado en el uso de telefonía móvil GPRS/UMTS.

La transmisión GPRS⁷ es enviada a la red celular GSM que funciona como pasarela entre la red GPRS y la red pública de datos como IP y X.25. De forma más detallada, la conectividad GPRS asigna una dirección IP dinámica al dispositivo, lo que permite una transmisión de datos con conexión permanente. Los datos son recibidos en el servidor destino con IP fija, los cuales son convertidos mediante un decodificador para después ser almacenados en una base de datos. La conectividad GPRS se lleva a cabo mediante paquetes y es punto a punto. Tiene un tiempo de establecimiento de conexión inferior a 1 segundo. Para la operadora de la línea GPRS, los usuarios ocupan los recursos de la red en el momento en que están transmitiendo o recibiendo datos, y además se pueden compartir los canales de comunicación entre distintos usuarios y no dedicados como el modelo GSM, lo que permite costos más competitivos. GPRS Tunneling Protocol (GTP) es el encargado de transportar los paquetes del usuario y sus señales relacionadas entre los nodos de soporte de GPRS (GSN). Los paquetes GTP contienen los paquetes IP o X.25 del usuario. Por debajo de él, los productos estándares TCP⁸ y UDP⁹ se encargan de transportar los paquetes por la red. Resumiendo, en la transmisión GPRS se tiene una arquitectura de transporte IP/X.25-sobre-GTP-sobre-UDP/TCP-sobre IP.

De esta forma, el recorrido que realiza el flujo de los datos sísmicos adquiridos en la estación GUD hasta su destino final en el PC de la escuela (Figura 3.1) es el siguiente: desde el módulo de adquisición integrado (EAM) en la estación sísmica GUD, eam2131, denominado anteriormente sistema de adquisición de información sismológica (SAD), y por medio del transceptor telefónico de su unidad de gestión de

⁷ **GPRS:** *General Packet Radio Service* o Servicio General de Paquetes vía Radio, es una extensión del *Global System for Mobile Communications* (GSM o Sistema Global para Comunicaciones Móviles) para la transmisión de datos no conmutada (o por paquetes). GPRS es una técnica de conmutación de paquetes, que es integrable con la estructura actual de las redes GSM. Esta tecnología permite velocidades de transferencia de 56 a 144 kbps. Sus ventajas son múltiples, y se aplican fundamentalmente a las transmisiones de datos que produzcan tráfico "a ráfagas", es decir, discontinuo.

comunicaciones, son transmitidos los datos sísmicos digitalizados hacia un servidor en el centro de recepción de datos sísmicos en la sede central del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en Madrid, concretamente a **PCGPRS1**. Una vez que se tienen los datos en el IGN, desde este servidor son retransmitidos a un segundo servidor **PC-RESISTE**, donde son registrados y almacenados. Finalmente, para poder tener acceso a los datos desde el PC instalado en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía, al que llamamos **PC-ESCUELA**, son necesarios varios requisitos:

1. Conexión a Internet:
2. Comunicaciones autorizadas: el personal de servicios informáticos, tanto en la escuela como en el IGN, tuvieron que habilitar y configurar los cortafuegos. Éstos llevan a cabo una inspección y filtrado de paquetes, a partir de la coincidencia con un conjunto de reglas del filtro. Basándose en la información contenida en el paquete, el filtro utiliza una combinación del emisor del paquete y la dirección de destino, su protocolo, y en el tráfico TCP y UDP, el número de puerto.
3. Enlace con el servidor PC-RESISTE: se realiza una conexión vía Internet a la dirección IP y puerto del servidor PC-RESISTE desde PC-ESCUELA, el cual actúa como cliente, y así poder acceder al flujo de datos sísmicos.

⁸ **TCP/IP**: es el protocolo común utilizado por todos los ordenadores conectados a Internet, de manera que éstos puedan comunicarse entre sí. Hay que tener en cuenta que en Internet se encuentran conectados ordenadores de clases muy diferentes y con *hardware* y *software* incompatibles en muchos casos, además de todos los medios y formas posibles de conexión. Aquí se encuentra una de las grandes ventajas del TCP/IP, pues este protocolo se encargará de que la comunicación entre todos sea posible. TCP/IP es compatible con cualquier sistema operativo y con cualquier tipo de *hardware*.

⁹ **UDP/IP**: es un protocolo que se basa en el intercambio de datagramas. No permite la numeración de datagramas, y se utiliza principalmente cuando el orden en que se reciben los mismos no es un factor fundamental. Permite que el envío de datagramas a través de la red se realice sin que se haya establecido previamente una conexión. Representa el nivel de servicio mínimo que utilizan muchos sistemas de aplicación basados en transacciones. Es muy útil en los casos en los que no son necesarios los servicios de TCP.

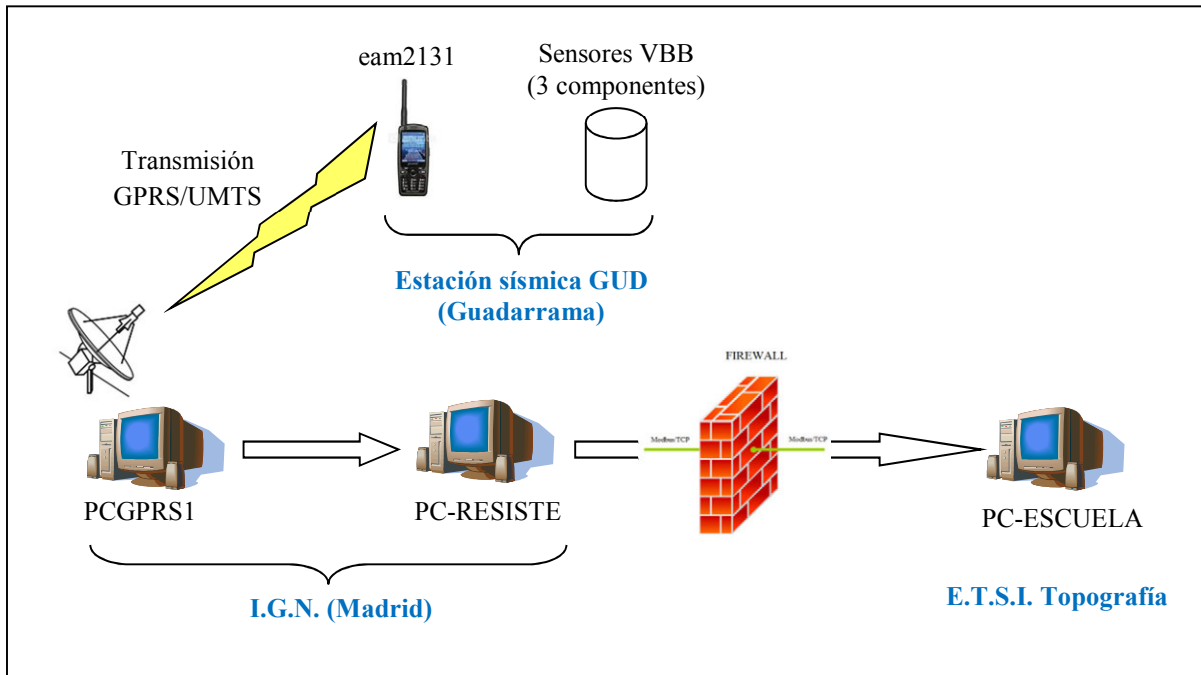


Figura 3.1: Transmisión digital GPRS/UMTS. Flujo de datos sísmicos desde la estación sísmica GUD en Guadarrama hasta el PC-ESCUELA en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.

3.1. INSTALACIÓN DE HARDWARE

El hardware o elementos físicos del sistema informático (Figura 3.2) que ha sido necesario instalar en el laboratorio de física de la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía está compuesto por:

- Ordenador (PC-ESCUELA) con acceso a Internet: con sistema operativo Linux Ubuntu 11.10, memoria 2.0 GiB, procesador Intel® Core™ 2 Duo CPU E8200@ 2.66 GHz x2 y disco de 76,8 GiB.
- Monitor de 22 pulgadas HP Compaq LA2205wg, con una resolución de 1.680 x 1.050 píxeles, que cumple con las funciones de Unidad de Visualización de datos sísmicos.



Figura 3.2: Hardware compuesto por ordenador, teclado y monitor, instalados en el laboratorio de Física de la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.

3.2. INSTALACIÓN DE SOFTWARE

El software o soporte lógico del sistema informático instalado en PC-ESCUELA que hace posible la realización de tareas específicas incluye, entre otros muchos, el sistema operativo del sistema, el gestor de correo electrónico y las aplicaciones Scream y Drumplot de Guralp, las cuales permiten el monitoreo del flujo de datos sísmicos adquirido.

3.2.1. Sistema operativo

El sistema operativo que fue necesario instalar en el ordenador PC-ESCUELA utilizado para la realización del presente proyecto final de carrera, es Linux Ubuntu, versión 11.10. Se encarga de gestionar en el sistema informático los recursos de hardware y proveer servicios a los programas de aplicación. Utiliza un núcleo Linux/Unix y su origen está basado en Debian.

Linux es un sistema operativo gratuito y de libre distribución inspirado en el sistema Unix, escrito por Linus Torvalds con la ayuda de miles de programadores en Internet. Linux no es en general tan sencillo de emplear como otros sistemas operativos, pero destaca por ser muy flexible y estable, y una de sus principales ventajas es que es multitarea y multiusuario, lo que significa que es capaz de ejecutar varios programas (o

tareas) y albergar a varios usuarios de forma simultánea. Al contrario que en otros sistemas operativos, por defecto el trabajo con Linux no se realiza de una forma gráfica, sino ejecutando comandos manualmente en la línea de comandos del terminal. Linux dispone de varios programas denominados shell, que se encargan de interpretar los comandos que introduce el usuario y realiza las acciones oportunas en respuesta, y actúan como vía de comunicación del usuario con el sistema.

3.2.2. Gestor de correo electrónico

En el ordenador PC-ESCUELA instalado en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía, fue necesario llevar a cabo la configuración de un gestor de correo electrónico *Evolution* (Figura 3.3) junto con la creación de una nueva cuenta de correo asociada al proyecto.

En primer lugar, el personal de servicios informáticos de la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía creó una nueva cuenta de correo electrónico con las siguientes características:

- Nombre de la cuenta: *terremoto@topografia.upm.es*
- Servidor POP: *pop3@topografia.upm.es*
- Puerto asignado al servidor POP3: 110

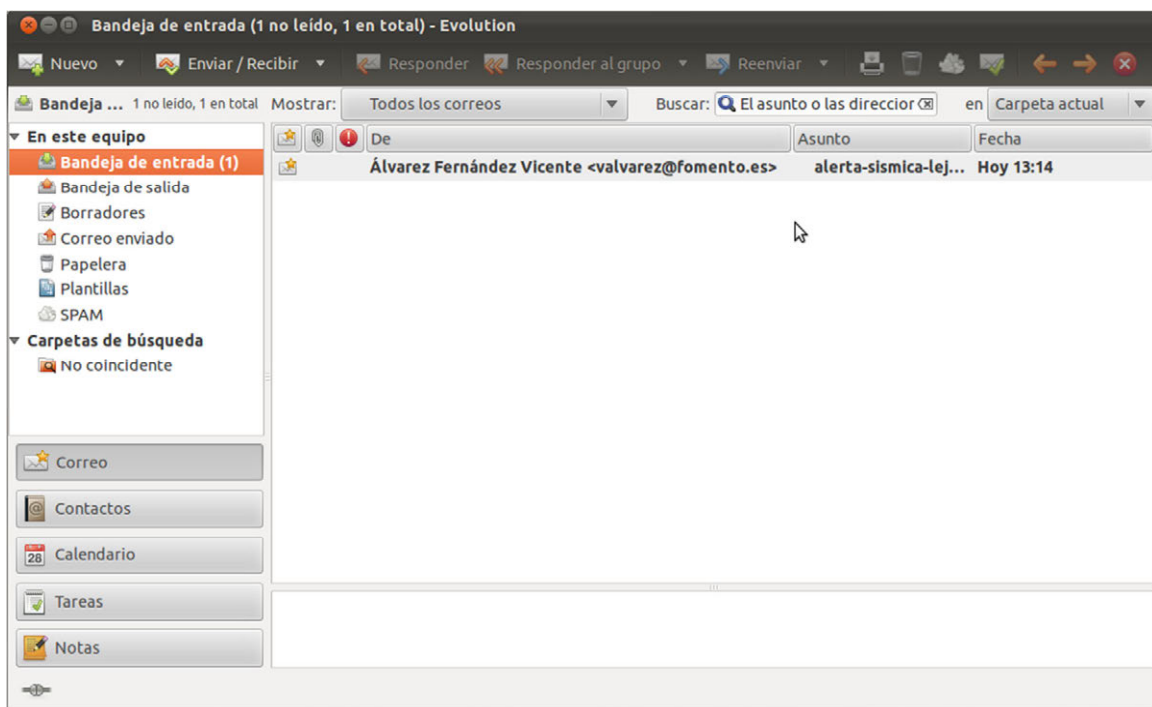


Figura 3.3: Interfaz del gestor de correo electrónico *Evolution* instalado y configurado en el ordenador PC-ESCUELA.

La creación de dicha cuenta de correo radica en la necesidad de recibir vía e-mail, tanto los resúmenes diarios de sismicidad y las alertas sísmicas, desde la sede central del Instituto Geográfico Nacional, como las peticiones de visualización de la información de un determinado evento sísmico, por parte de cualquier usuario.

El protocolo POP es una aplicación de red que permite recoger el correo electrónico en un servidor remoto (servidor POP) sin necesidad de acceder a ninguna página WEB, y permite consultar, guardar y clasificar los correos electrónicos recibidos, enviar respuestas, gestionar los blogs, cuentas de noticias, etc. Así pues, se instaló un cliente de correo, con la cuenta *terremoto@topografia.upm.es* configurada, que consulta al servidor POP3 correspondiente cada cierto tiempo para descargar los mensajes nuevos. Al no usar servidores POP3 externos a la UPM, no se requirió de ninguna autorización al Rectorado de la UPM para habilitarlo en el firewall.

A continuación se describen las aplicaciones Drumplot y Scream de Guralp que se decidieron instalar para monitorizar en tiempo real el flujo de datos sísmicos, y se detallan algunos de los procedimientos que se llevaron a cabo tanto para su instalación, la configuración de las comunicaciones para la recepción/transmisión y almacenamiento de datos, así como para la configuración de los parámetros de visualización de datos. En la figura 3.4 se representa un diagrama de bloques del flujo de datos sísmicos desde la estación GUD hasta PC-ESCUELA y su relación con las aplicaciones Drumplot y Scream.

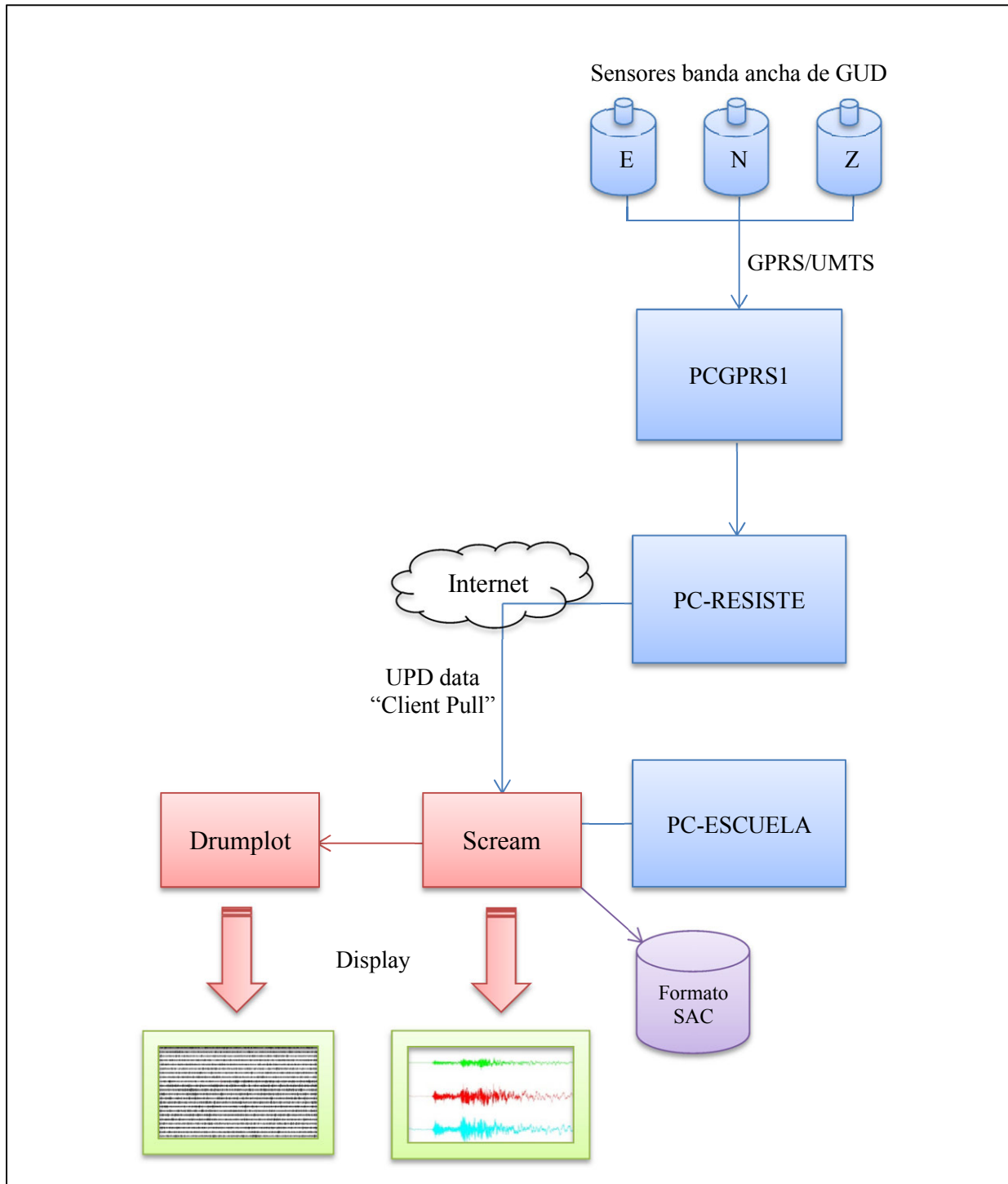


Figura 3.4: Diagrama de bloques del flujo de datos sísmicos desde la estación GUD hasta PC-ESCUELA, y su relación con las aplicaciones Drumplot y Scream para la monitorización de la señal sísmica en tiempo real.

3.2.3. Drumplot

3.2.3.1. Instalación y ejecución

Para la instalación de Drumplot v3.0 en entorno Unix/Linux fue necesario descargar de la WEB de Guralp Systems www.guralp.com en Internet los siguientes ficheros proporcionados en formato gzip: *drumplot.gz*, que contiene el software, y *libborgt-6.9-qt2.3.so.gz*, que contiene la biblioteca QT de tiempo de ejecución. Ambos ficheros se descomprimen, se mueve el ejecutable *drumplot* al directorio de trabajo y se asignan permisos de lectura, escritura y edición para que puedan ser ejecutados a través del terminal.

Una vez instalado, su ejecución en el terminal se realiza a través de la línea de comandos, especificando como argumento el número del puerto en el que queramos que escuche, es decir, se ejecuta el comando de arranque *drumplot 1569*.

Drumplot hace uso de la configuración del fichero *scream.ini* para la adquisición de los datos, por lo que es necesario tener previamente configurado Scream para que ambos programas estén comunicados. Así pues, tal y como se describirá más adelante, será necesario haber añadido el cliente *127.0.0.1:1569* y activado la opción “Transmit data from Network” para que los bloques sean enviados al cliente destinatario Drumplot. De esta forma es posible que ambos programas, Drumplot y Scream, puedan estar corriendo de forma simultánea sin problemas.

3.2.3.2. Descripción

Drumplot 3.0 es una aplicación desarrollada por Guralp Systems, que consiste en un software de registro digital y monitoreo en tiempo real de la señal sísmica detectada y registrada por una estación sísmica de forma continua, y que permite tener una visión global y en forma continua del registro de la estación en las últimas 24 horas (Figura 3.5).

La aplicación instalada en nuestro sistema informático está configurada para mostrar, en la parte izquierda, los archivos correspondientes a cada uno de las tres componentes o canales de datos de la estación sísmica GUD en Guadarrama, cuyo nombre se especifica con el número *3211* que indica el código de la estación, junto con

una letra que indica cada una de las tres componentes de su sensor, este (*E*), norte (*N*) y vertical (*Z*). En la barra de estado por debajo de la lista de archivos se indican la frecuencia de muestreo y el tamaño del archivo seleccionado.

En la ventana central de visualización se muestra la monitorización en tiempo real de la señal sísmica registrada por la componente previamente seleccionada, actualizada de forma automática cada minuto, donde cada línea es una traza o sismograma que abarca un intervalo de tiempo de una hora de duración.

La amplitud de la señal sísmica registrada se mide directamente en cuentas del convertidor analógico/digital. Por lo general el registro es bastante plano y se corresponde al nivel del ruido de la señal, aumentando su amplitud o nivel de la señal cuando se produce un terremoto (debido a sismicidad natural o bien debido a la sismicidad inducida por el hombre de forma totalmente artificial). La escala se selecciona automáticamente para ajustar el nivel de señal, de tal manera que la mayor parte de los datos estén dentro de las limitaciones del registro. Para evitar que los períodos cortos, que producen una señal de gran amplitud, provoquen una representación del resto de los datos mediante una línea plana, se permite un pequeño porcentaje de solapamiento entre registros.

Un marcador vertical de color rojo en el extremo de la traza indica la hora actual (últimos datos recibidos). Las lagunas en los datos se mostrarían como espacios en blanco y el sentido de avance gráfico y temporal es de izquierda a derecha.

En el eje vertical de la ventana central de monitorización aparecen las horas correspondientes a cada traza registrada, en modo 24 horas, mientras que el eje horizontal está dividido en fracciones de minutos. De esta forma se puede interpretar la hora de ocurrencia en cualquier terremoto registrado. El sistema de tiempo se corresponde con la referencia de tiempo universal (UTC) asignada en origen, que proporciona el receptor GPS y viaja junto con la señal sísmica.

En la parte derecha se muestran la fecha actual y la información relativa a la estación y componente seleccionados en ese instante.

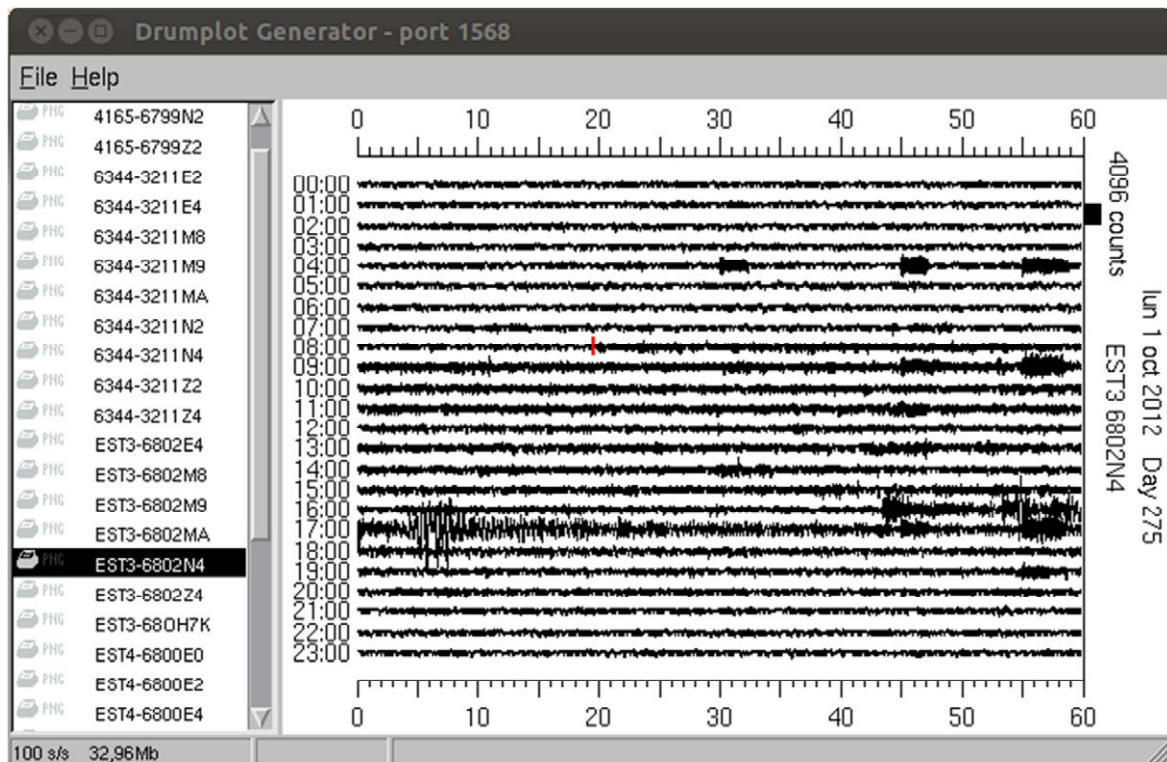


Figura 3.5: Interfaz de la aplicación Drumplot. Monitorización en tiempo real de la señal sísmica detectada y registrada por la estación de Guadarrama.

3.2.4. Scream

3.2.4.1. Instalación y ejecución

Para la instalación de Scream para Unix/Linux fue necesario descargar de la WEB de Guralp Systems www.guralp.com en Internet el fichero Scream-4.5.tar.gz, descomprimirlo, moverlo al directorio de trabajo y asignar permisos de lectura, escritura y edición para que pueda ser ejecutado a través del terminal. Después de desempacar, se copia el archivo *libborgt-6.9-qt2.3.so* al directorio de bibliotecas del sistema.

Una vez instalado, para que su ejecución en el terminal se realice a través de la línea de comandos en el directorio correspondiente, tecleando directamente el comando de arranque Scream, se añade el *path* de búsqueda del directorio donde residen los binarios de Scream al fichero *.bashrc* ubicado en el directorio home, que es el fichero de inicio del *shell* que viene por defecto en Ubuntu (bash).

3.2.4.2. Descripción y configuración

SCREAM = Seismometer Configuration, REal-time Acquisition and Monitoring

Scream 4.5 es una aplicación desarrollada por Guralp Systems que permite tanto monitorizar en tiempo real y registrar de forma continua los datos sísmicos proporcionados por una red sísmica, como el manejo remoto de herramientas de diagnóstico para chequear, calibrar y configurar las propias estaciones sísmicas que conforman la red.

La aplicación instalada en nuestro sistema informático está configurada para recibir datos únicamente de la estación sísmica GUD en Guadarrama, registrar y monitorizar en tiempo real la señal de cada uno de las tres componentes de su sensor de forma simultánea.

3.2.4.2.1. Configuración en la recepción/transmisión y almacenamiento de datos

Por un lado, con respecto a la configuración llevada a cabo en la comunicación de Scream con la fuente de datos, el procedimiento para la recepción del flujo de datos sísmicos es del tipo “Client Pull” (Figura 3.6). En esta situación, el cliente (Scream) realiza un seguimiento de su propio servidor (centro de recepción de datos sísmicos en la sede central del Instituto Geográfico Nacional en Madrid), y le “pide” que le envíe los datos a través de los comandos *GCFSEND* y *GCFSTOP*.

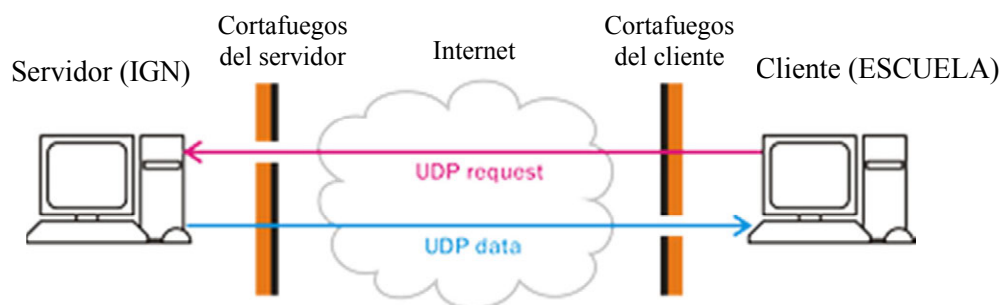


Figura 3.6: Esquema de la configuración “Client Pull” en la petición y transmisión de datos sísmicos entre el cliente (Scream) instalado en PC-ESCUELA en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía y el servidor (centro de recepción de datos en la sede del IGN)

Las peticiones se colocan en paquetes UDP que el servidor puede reconocer, y como el servidor está detrás de un firewall, el puerto UDP necesita haber sido desbloqueado previamente tanto en el cliente como en el servidor. Para configurar la aplicación Scream en modo “Client Pull” y solicitar datos del servidor se realizaron básicamente las siguientes acciones:

- Añadir un servidor: el equipo actúa como un cliente que recibe la información desde el servidor del centro de recepción de datos sísmicos en la sede central del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en Madrid. Se añade la dirección IP y número de puerto de comunicaciones del servidor UDP al que se desea conectar, y se selecciona la opción Transmit data from local Com ports.
- Solicitar el flujo de datos: se selecciona GCFSEND: B, donde “B” indica orden de bytes big-endian.

En relación al almacenamiento de los datos, éstos se guardan automáticamente en el disco duro de PC-ESCUELA, dentro de un directorio asignado de destino. Se crea de esta forma una base de datos, formada por un número finito de archivos de datos que contienen la información recibida y registrada en el intervalo de una hora de duración. En nuestra situación, se ha elegido el formato SAC para los archivos de datos, el cual es compatible con la aplicación Seismic Analysis Code (SAC), **Goldstein y Minner (1995)**, para su posterior análisis y explotación.

Por otro lado, se lleva a cabo una configuración en la comunicación de Scream con otras aplicaciones externas. En esta situación, Scream actúa como servidor y envía los bloques de datos a la aplicación Drumplot, instalada en el mismo equipo y que actúa como cliente. Para configurar el procedimiento en la transmisión del flujo de datos sísmicos se realizó básicamente lo siguiente:

- Añadir un cliente: el equipo actúa como servidor para difundir automáticamente los bloques a través de paquetes UDP a la aplicación Drumplot, que actúa en este caso como cliente. Se añade la dirección IP 138.100.149.251 y número de puerto de comunicaciones del cliente destinatario al que se desea enviar los datos.

3.2.4.2.2. Configuración de los parámetros de visualización de datos

La señal de cada una de las tres componentes del sensor es monitorizada en tiempo real de forma simultánea en la ventana “WaveView”, cada una de un color para facilitar su identificación, acompañado de una escala temporal situada en un eje horizontal superior que se desplaza de forma sincronizada con el avance del flujo de datos. La barra superior de herramientas (Figura 3.7) que permite activar/desactivar distintas opciones (filtros de la señal) y modificar y asignar una serie de valores (amplitud y escala temporal). Ha sido configurada en inicio para ofrecer una visualización bien escalada y útil de los sismogramas para su interpretación y estudio por el usuario.

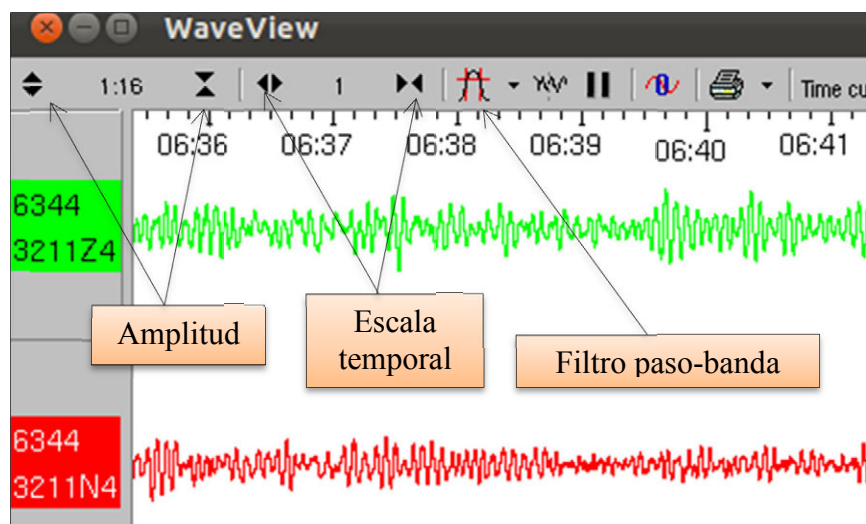


Figura 3.7: Principales herramientas de tratamiento y visualización de la señal monitorizada en Scream.

Destacan las siguientes herramientas de tratamiento de la señal monitorizada:

- Zoom vertical: permite seleccionar la escala de amplitud de la señal, estableciendo una relación “cuentas por píxel”. Conviene mostrar la señal prácticamente plana en su nivel de ruido de fondo con el fin de evitar una posible saturación y solape excesivos de la señal ante la ocurrencia de un terremoto. De esta forma se podría visualizar todo el rango dinámico y se apreciaría el orden de magnitud correspondiente a una señal de gran amplitud en relación al nivel de ruido de fondo, lo cual ayudaría a una fácil interpretación (Figura 3.8)

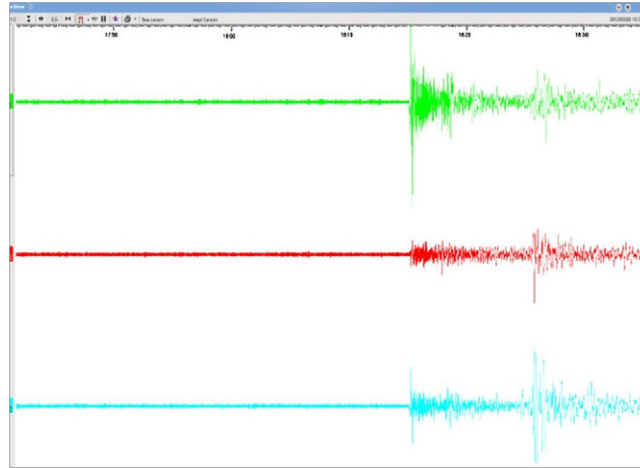


Figura 3.8: Ejemplo de monitorización en Scream de la señal sísmica detectada ante la ocurrencia de un terremoto, donde ha sido seleccionada una escala de amplitud adecuada que permite visualizar todo su rango dinámico sin que se produzca una saturación.

- Zoom horizontal: permite seleccionar la escala temporal de la señal, estableciendo una relación “píxeles por segundo”. Tanto la velocidad de avance como las fracciones en que se divide la escala temporal, varían en función de la escala temporal elegida. Para convertir a “píxeles por muestra”, se tendría que dividir el factor de zoom horizontal entre la frecuencia de muestreo de la señal. Es conveniente mostrar la señal con un escalamiento temporal adecuado, que permita mostrar en la pantalla de visualización gran parte del rango temporal que abarca la señal durante cualquier terremoto (Figura 3.9).

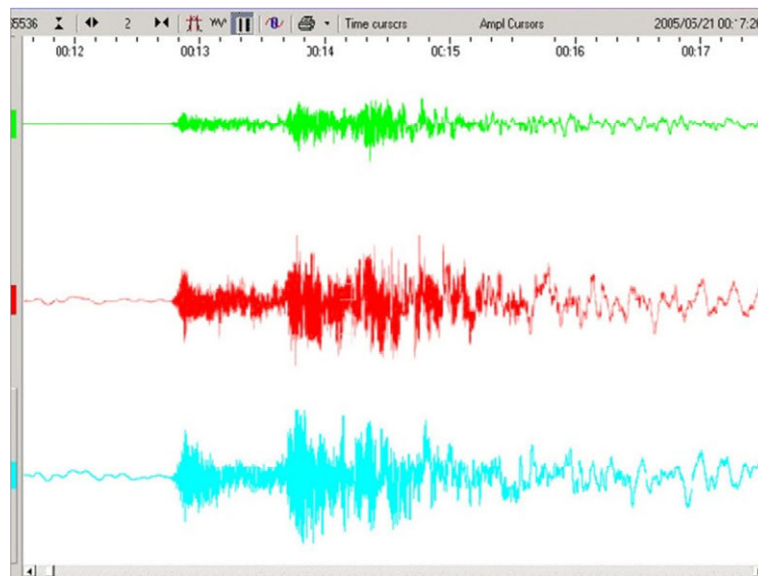


Figura 3.9: Ejemplo de monitorización en Scream de la señal sísmica en tiempo real detectada por las tres componentes del sensor de la estación de Guadarrama, correspondiente al evento 1144088 en el SW del Cabo San Vicente de magnitud 4,5 mb(V-C), el día 21 de Mayo de 2012. Se representa con un zoom horizontal adecuado que permite visualizar gran parte del rango temporal del evento.

De esta forma, es posible pausar el registro para observar con detalle la forma de onda y analizar con detenimiento las distintas fases del evento, así como realizar medidas de diferencias temporales entre ellas.

- Filtrado numérico de la señal: si se activa el filtro paso banda, esta opción permite aplicar a la señal monitorizada un filtro “por defecto” cuyas propiedades dependen de la frecuencia de muestreo. En nuestro caso, para un muestreo de 100 mps, este filtro deja pasar un rango de frecuencias de 5 – 45 Hz de la señal y atenúa el resto. Otra opción sería aplicar un filtro “personalizado” que puede ser diseñado previamente por el usuario.
- Límites de bloque: permite mostrar una línea vertical punteada al inicio y final de cada uno de los bloques de datos GCF que forman la señal monitorizada, junto con el número de bits empleados para almacenar cada muestra en el bloque. Resulta una opción útil para la detección de posibles cortes en la recepción de datos que se traducen en una falta de muestras.
- Cursores de tiempo y amplitud: se trata de herramientas interactivas que permiten, en modo pausa, realizar medidas de intervalos de tiempo en las señales monitorizadas mediante un par de cursores verticales u horizontales. Mediante los cursores verticales se pueden realizar medidas temporales entre fases o entre dos pulsos consecutivos en segundos, y mediante los cursores horizontales, de forma simultánea, medidas de amplitud de señal en cuentas (Figura 3.10).

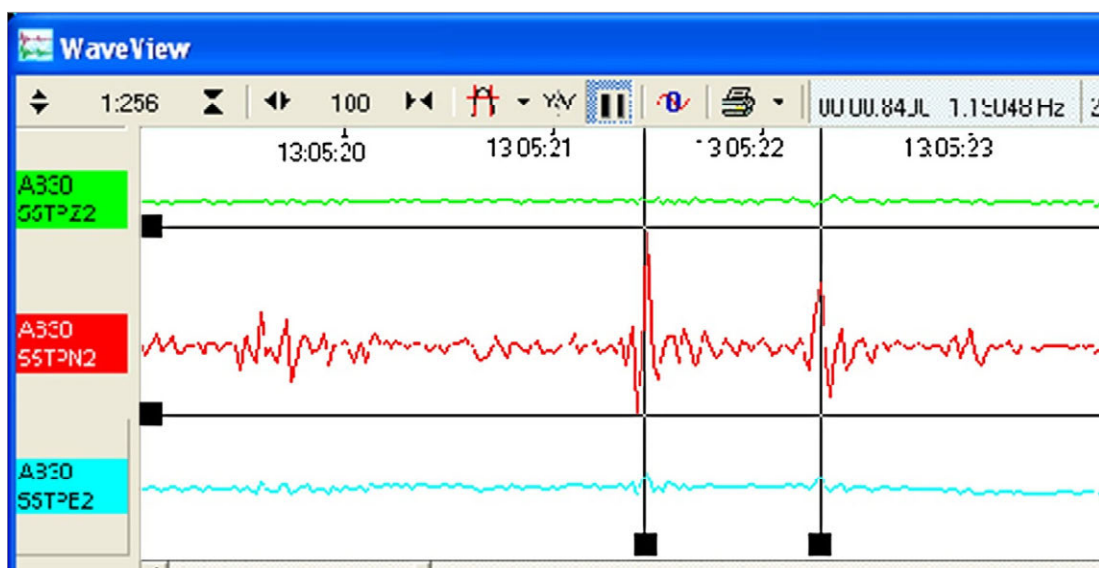


Figura 3.10: Ejemplo de medidas temporales y de amplitud de la señal sísmica pausada, mediante el uso de las herramientas de cursor en Scream.

4. LA UNIDAD DE VISUALIZACIÓN DE DATOS SÍSMICOS

En primer lugar, se aborda en este apartado una descripción detallada del flujo de datos sísmicos hasta su recepción final en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía, haciendo hincapié en el funcionamiento de la aplicación desarrollada “saco”, la cual gestiona el tratamiento de los ficheros de datos paramétricos de localizaciones que se envían por correo electrónico desde la sede central del IGN y se reciben en la bandeja de entrada de la cuenta de correo asociada al proyecto.

En segundo lugar, se da a conocer el software de visualización de información de terremotos que se ha desarrollado, que permite la creación y diseño de los mapas de localización y listados de terremotos.

Por último, se describe el software que ha sido desarrollado y diseñado con el objeto de visualizar los registros gráficos de la actividad sísmica registrada y analizada, haciendo uso de las herramientas que ofrece el programa SAC (Seismic Analysis Code) **Goldstein y Minner (1995)**, a partir los ficheros de los datos de registro continuo en formato SAC almacenados por la aplicación Scream.

4.1. GESTIÓN DE LA ALERTA Y ENVÍO DE LOS RESÚMENES DIARIOS DE SISMICIDAD

En este apartado se describe detalladamente el flujo de datos sísmicos desde su registro en la estación sísmica de banda ancha GUD hasta que la información es mostrada en forma de imágenes en la Unidad de Visualización. Una descripción esquemática del flujo de datos y su tratamiento puede verse reflejada en los diagramas de bloques (Figuras 4.1, 4.2 y 4.3).

La actividad sísmica es registrada de forma continua por el sismómetro de la estación sísmica GUD través de los dos sensores horizontales (componentes E y N) y el sensor vertical (componente Z). A continuación, en la estación sísmica la señal registrada es digitalizada y etiquetada con el tiempo de referencia UTC por medio del receptor GPS. El flujo de datos es comprimido, ensamblado en paquetes y enviado en tiempo real vía GPRS/UMTS hacia el centro de recepción de datos sísmicos de la RSN, en la sede central del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Al igual que es recibida la señal registrada de GUD, en el IGN también se recibe y almacena la señal del resto de estaciones sísmicas que conforman la RSN, formadas por instrumentación de distintas características, con vías de transmisión de datos en tiempo real, interrogación telefónica

u otras vías de enlace que llevan aparejadas distintas formas de recepción acordes con ellas. Esto hace que los procedimientos de registro no sean realizados de la misma forma, aunque el análisis final sea consecuencia de una recopilación general de todos los datos registrados que existen sobre el evento.

No es el cometido del presente trabajo la descripción de los métodos de análisis y procesamiento sismológicos de los datos que se lleva a cabo en el centro de recepción de datos de la RSN, aunque si mencionaremos que la información en tiempo real recibida constituye el elemento esencial del sistema de alerta ante la ocurrencia de eventos sísmicos y que la información inicial sobre localización y parámetros dinámicos se conoce en un tiempo variable no superior a los 15 minutos desde la ocurrencia del sismo.

Desde la sede central del IGN se ha programado una tarea rutinaria de envío a la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía de la información sísmica registrada por GUD, una vez analizados y procesados dichos datos junto con los del resto de estaciones sísmicas que conforman la RSN para el cálculo de los parámetros de localización y tamaño. De esta forma cada día a las 7:20:00 horas (Tiempo Universal), se envía de forma automática vía e-mail a la cuenta de correo electrónico *terremoto@topografia.upm.es* un mensaje de correo que contiene un resumen actualizado y revisado de los terremotos localizados en los 30 últimos días, pero sólo aquellos conformes al siguiente filtro en el orden de magnitudes, en función de la zona de ocurrencia y la profundidad (h):

- Sismos próximos a partir de 3,5 grados.
- En Europa, telesismos superficiales ($h < 100$ km) a partir de 5,5 grados y profundos ($h > 100$ km) a partir de 6 grados.
- En el resto del mundo, telesismos superficiales ($h < 100$ km) a partir de 6 grados y profundos ($h > 100$ km) a partir de 6,5 grados.

Adicionalmente y siguiendo el mismo filtro en el orden de magnitudes, está programado el envío de un fichero que contiene la información de la alerta de cada sismo próximo y lejano en el momento en que es generada y revisada (Figura 4.1). Estas alertas se sumarán y actualizarán la lista del resumen de terremotos hasta que se envíe al siguiente día, con unos valores de los parámetros de localización y tamaño que podrán variar ligeramente respecto a los valores que figuraban en el fichero de alerta individual enviado con anterioridad, en función de que ésta haya sido recalculada o no.

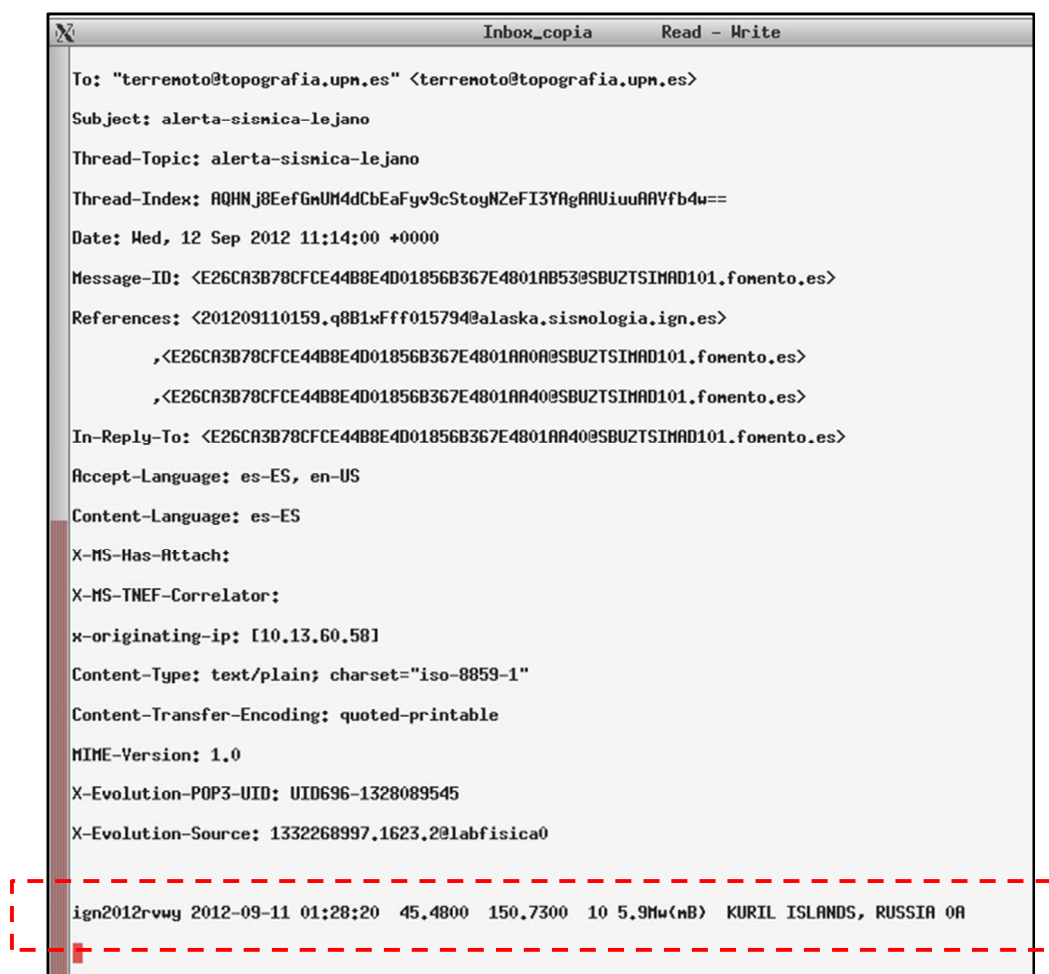


Figura 4.1: Ejemplo de un mensaje de correo contenido en el fichero que se envía de forma automática por e-mail a la cuenta de correo terremoto@topografia.upm.es desde la sede central del IGN, que contiene en este caso la información relativa a una alerta del telesismo ign2012rvwy, ocurrido en las Islas Kuriles (Rusia) el día 11 de Septiembre de 2012 a las 01:20:20 horas. El mensaje será rastreado línea por línea para la captura de los datos del evento.

Por otra parte, a la bandeja de entrada de la cuenta de correo electrónico terremoto@topografia.upm.es también llegan mensajes de correo, vía e-mail desde cualquier terminal, pda o teléfono móvil, enviados por cualquier usuario que desee visualizar en el monitor información relativa a un evento que sea de su interés. Se ofrece así un servicio interactivo de información de terremotos a través del correo electrónico con la Unidad de Visualización por parte de cualquier usuario. La petición se realizará escribiendo en el asunto del mensaje la palabra “veosismo” seguido de un espacio y el “evid” (identificador único de cada evento sísmico) del terremoto de su interés, tal y como se explicará de forma más detallada en el apartado 5.1 del presente trabajo.

4.1.1. Desarrollo de la aplicación “saco”

La aplicación “saco” (Anexo 18) ha sido desarrollada a través de programación Unix y se encarga de la gestión y el tratamiento de los ficheros de datos y mensajes de correo cuando se reciben en la bandeja de entrada de la cuenta de correo asociada al proyecto *terremoto@topografia.upm.es*, tal y como puede verse reflejado de forma esquemática en la figura 4.2.

Cada nuevo mensaje de correo llega al directorio de destino */home/valvarez/.local/share/evolution/mail/local/cur*, asociado a la bandeja de entrada de la cuenta de correo asociada al proyecto, y consiste en un fichero de texto independiente. Los mensajes de correo recibidos pueden ser los siguientes:

- LISTADO_IGN: mensaje de correo diario enviado desde el IGN, que contiene un resumen histórico y revisado de los terremotos próximos y los telesismos localizados en los 30 últimos días, incluyendo los que llegaron en las últimas 24 horas como alertas, pero sólo aquellos conformes al siguiente filtro en el orden de magnitudes, en función de la zona de ocurrencia y la profundidad (h):
 - Sismos próximos a partir de 3,5 grados.
 - En Europa, telesismos superficiales ($h < 100$ km) a partir de 5,5 grados y profundos ($h > 100$ km) a partir de 6 grados.
 - En el resto del mundo, telesismos superficiales ($h < 100$ km) a partir de 6 grados y profundos ($h > 100$ km) a partir de 6,5 grados.
- ALERTA_PROXIMA: mensaje de correo enviado desde el IGN, que contiene una alerta de un sismo próximo de acuerdo al mismo filtro en el orden de magnitud.
- ALERTA_LEJANA: mensaje de correo enviado desde el IGN, que contiene una alerta de un sismo lejano de acuerdo al mismo filtro en el orden de magnitudes.
- VEOSISMO: mensaje de correo enviado por cualquier usuario que realiza una petición para visualizar en el monitor la información sísmica de cualquier evento registrado por GUD que sea de su interés.

Cualquier otro mensaje recibido en la bandeja de entrada de la cuenta de correo, bien sea un mensaje vacío o de contenido basura (spam) no adecuado al formato y/o contenido exigido, será rastreado y automáticamente filtrado, evitando de esta forma que se ejecuten las aplicaciones de dibujo y se muestren imágenes sin datos en la Unidad de Visualización.

Una vez recibidos los mensajes de correo, la aplicación “saco” ha sido programada para que se ejecuten una serie de tareas, de forma automática y periódica a intervalos regulares de 2 minutos de tiempo. Para ello ha sido necesaria la configuración de un cron¹⁰ a partir del fichero “escuela_cron” (Anexo 7). A continuación se describen las tareas programadas que se ejecutan a partir de la aplicación “saco”:

- En un primer momento, se extrae el texto de cada fichero de correo entrante, para crear a continuación un nuevo fichero llamado *Inbox*.
- Se rastrea y analiza el texto contenido en el fichero *Inbox* línea por línea para la búsqueda y captura de los listados de terremotos próximos, lejanos y las alertas sísmicas de terremotos próximos y lejanos. Cada registro asociado (evento) se copia en nuevos ficheros y se mueve a un directorio de salida.
- Sobre cada uno de los ficheros creados, se ordena la ejecución de las distintas aplicaciones de dibujo desarrolladas para generar las imágenes que conforman la base de datos para uso científico y se mostrarán en la Unidad de Visualización.

A su vez, cada uno de los eventos que forman los listados de próximos y lejanos, a los que se han sumado previamente las alertas próximas y lejanas respectivamente, se extrae en un fichero temporal y se ejecuta sobre él todas las aplicaciones de dibujo y la película. El objetivo es el de formar una colección de imágenes, cuyo nombre comience con el identificador único (evid) extraído del primer campo de cada registro. Estas imágenes estarán disponibles para que, en el momento en que cualquier usuario de Monitor Sísmico Interactivo envíe un correo a la cuenta del proyecto, escribiendo en el campo “asunto” del mensaje la

¹⁰ **Cron:** En el sistema operativo Unix, cron es un administrador regular de procesos en segundo plano (demonio) que ejecuta procesos o scripts a intervalos regulares (por ejemplo, cada minuto, día, semana o mes). Los procesos que deben ejecutarse y la hora en la que deben hacerlo se especifican en el fichero crontab. El nombre cron viene del griego chronos que significa "tiempo". Esto quiere decir que nos permite programar todas aquellas tareas que queramos que se ejecuten automáticamente.

palabra “VEOSISMO”, seguido de un espacio y el “EVID” del terremoto (identificador único de cada evento) que sea de su interés, una nueva aplicación llamada “veosismo” (Anexo 25) se encarga de rastrear y extraer las imágenes que comienzan con dicho “evid”. De esta forma estas imágenes serán mostradas de forma automática e instantánea en el área correspondiente de la Unidad de Visualización de datos (página WEB Monitor Sísmico Interactivo – Terremoto seleccionado por el usuario).

En la figura 4.2 también puede verse reflejado cada grupo de aplicaciones de dibujo que se mandan ejecutar mediante la aplicación “saco” sobre cada uno de los ficheros, y de forma más detallada en la figura 4.3, los nombres de dichas aplicaciones junto con los nombres de las imágenes que generan en el directorio */DIRSAL*, las cuales son copiadas posteriormente al directorio */DIRDISPLAY* para que puedan ser visualizadas en última instancia, de forma automática e instantánea, en la Unidad de Visualización de datos sísmicos de Monitor Sísmico Interactivo.

En la figura 4.4 se muestra un esquema detallado que representa cada uno de los grupos de imágenes generadas por medio de las distintas aplicaciones de dibujo, las cuales serán mostradas en cada una de las áreas (I a IV) de dicha Unidad de Visualización de datos sísmicos:

- El Área_I informa de la sismicidad próxima registrada en la península Ibérica de magnitud a partir de 3,5 grados en los últimos 30 días.
- El Área_II informa de la sismicidad registrada en el mundo en los últimos 30 días, de magnitud a partir de 5,5 grados para telesismos superficiales ($h < 100$ km) y a partir de 6 grados para telesismos profundos ($h > 100$ km) en Europa, y de magnitud a partir de 6 grados para telesismos superficiales ($h < 100$ km) y a partir de 6,5 grados para telesismos profundos ($h > 100$ km) en el resto del mundo, conforme al filtro en el orden de magnitudes por zona de ocurrencia y profundidad (h), tal y como se había explicado anteriormente.
- El Área_III informa de la última alerta sísmica de un sismo próximo o lejano, de acuerdo al mismo filtro en el orden de magnitudes aplicado en el Área_I y Área_II.

- El Área_IV aporta información del terremoto seleccionado por cualquier usuario vía correo electrónico.
- Existe además el Área_Tiempo_Real en el que se muestra la monitorización de la señal de la estación sísmica de registro y almacenamiento de datos GUD en tiempo real.

Tal y como se detallará en el subapartado 4.5 del presente trabajo, cada área consiste en una página WEB independiente, confeccionada y diseñada mediante lenguaje de programación XHTML, actualizada en todo momento gracias a que han sido programadas de tal forma que se refrescan de forma automática cada pocos segundos con las nuevas imágenes generadas y copiadas al directorio */DIRDISPLAY*.

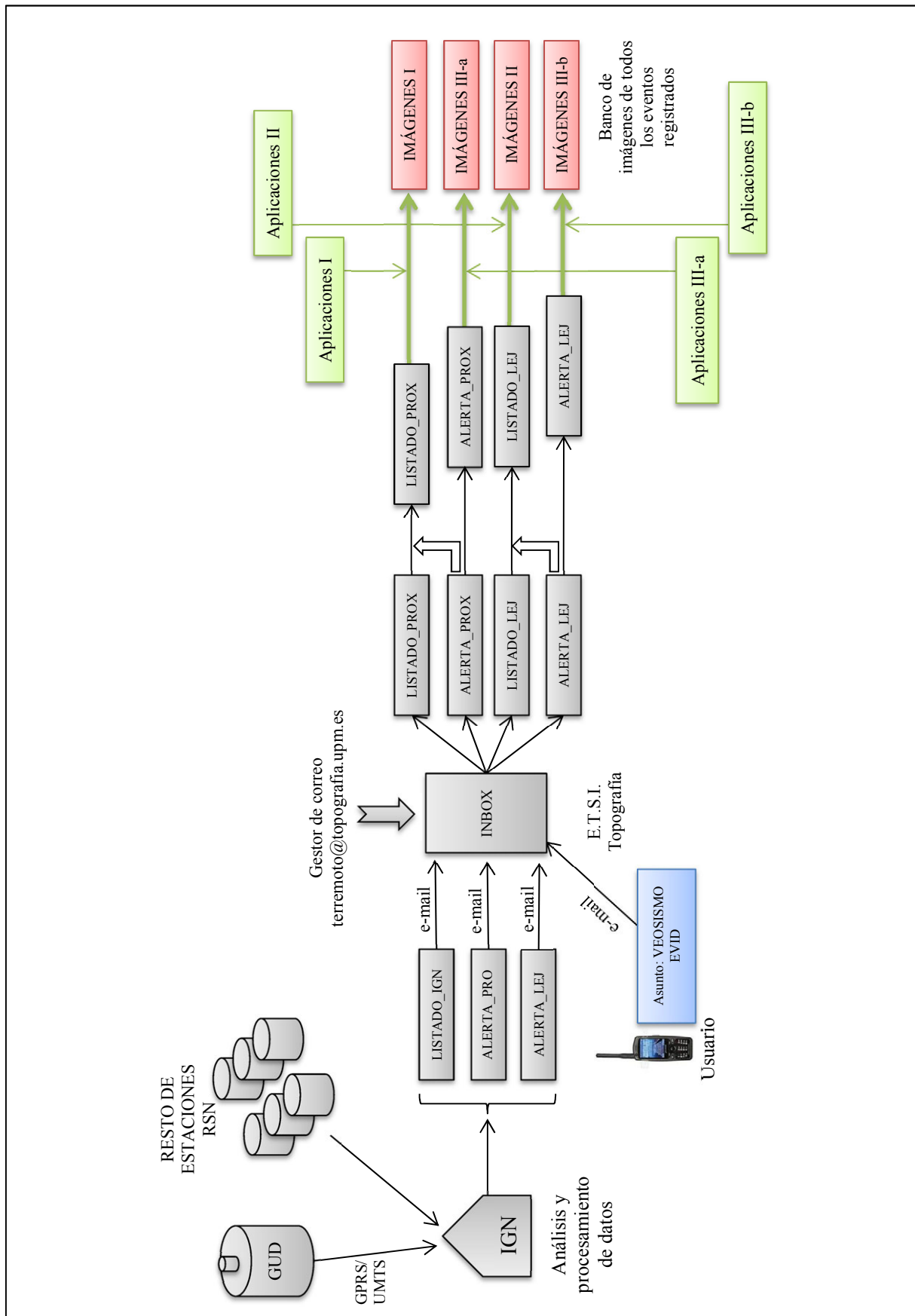


Figura 4.2: Diagrama de bloques que representa la gestión y tratamiento de los datos sísmicos que se lleva a cabo mediante la aplicación “saco”, a partir de su entrada en la bandeja de entrada de la cuenta de correo terremoto@topografia.es.

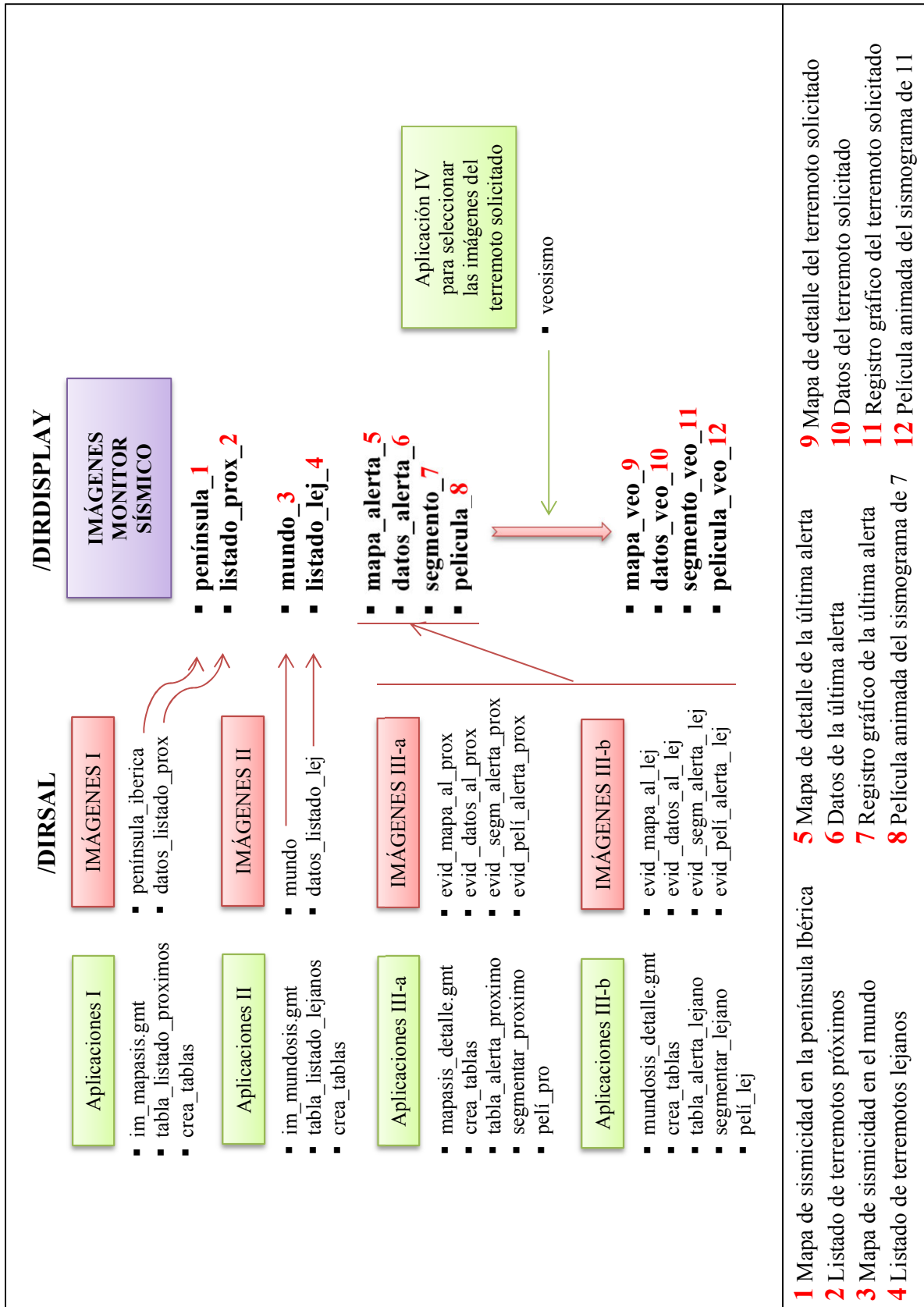


Figura 4.3: Esquema que muestra las aplicaciones que se ejecutan mediante la aplicación “saco”, los nombres de las imágenes que generan en el directorio /DIRSAL, las cuales son copiadas posteriormente al directorio /DIRDISPLAY para que puedan ser visualizadas en última instancia, de forma automática e instantánea, en la Unidad de Visualización de datos sísmicos de Monitor Sísmico Interactivo.

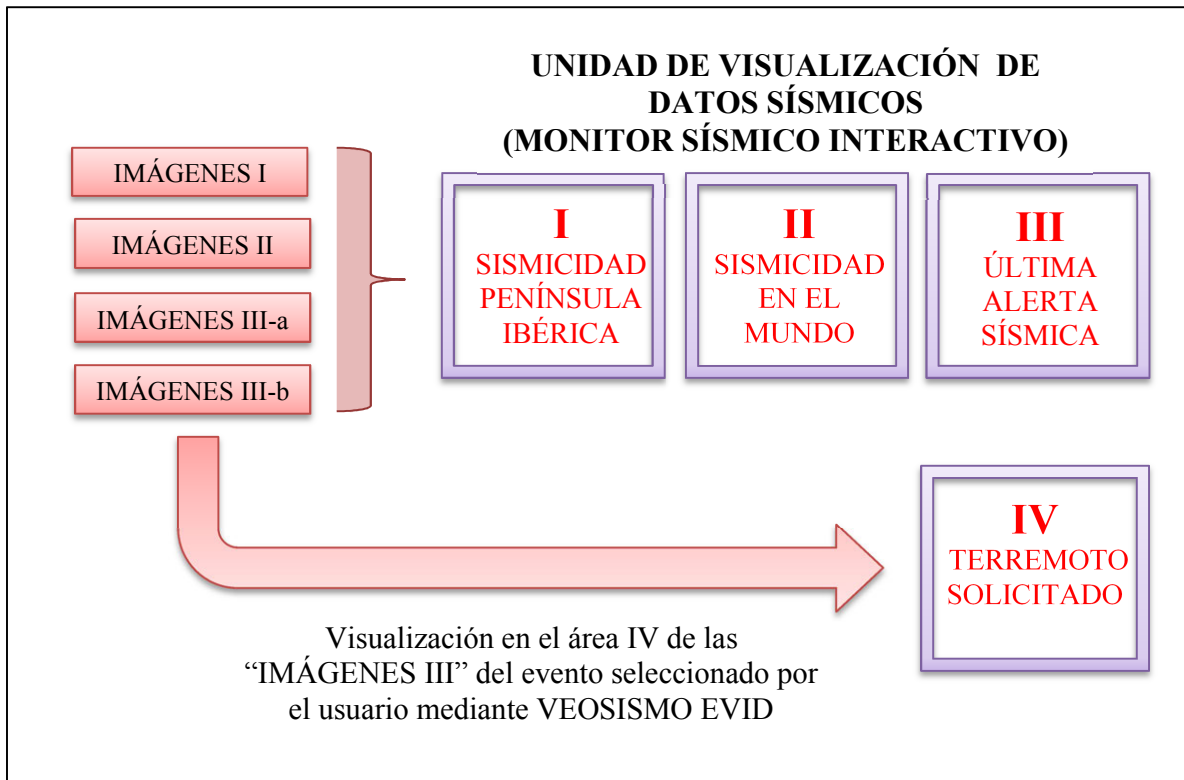


Figura 4.4: Esquema que representa cada uno de los grupos de imágenes generadas por medio de las distintas aplicaciones de dibujo. Estas imágenes se mostrarán en cada una de las áreas (I a IV) de la Unidad de Visualización de datos sísmicos.

4.2. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE TERREMOTOS

La visualización de la información de terremotos se ha llevado a cabo mediante el desarrollo de una serie de programas cuyo código permite la creación y diseño de los mapas de localización de terremotos próximos, lejanos y de detalle, y de los distintos listados de registros que muestran la información relativa a cada evento individualmente. Para ello ha sido necesario la instalación y manejo del software GMT (Generic Mapping Tools), **Wessel y Smith (1985)**, que es utilizado actualmente como herramienta de trabajo por más de 10.000 científicos en todo el mundo.

GMT es un paquete gratuito de programas de código abierto para la confección de diagramas y mapas, que fue desarrollado conjuntamente por Paul Wessel (Universidad de Hawai) y Walter H. F. Smith (National Oceanic and Atmospheric Administration), quienes se encargan además de su mantenimiento y permanente actualización, con la ayuda de una comunidad de voluntarios de todo el mundo. Es apoyado por la National Science Foundation, se distribuye bajo la Licencia Pública General de GNU y toda la información y recursos podemos encontrarlos en la WEB de Generic Mapping Tools <http://gmt.soest.hawaii.edu/>.

GMT ofrece herramientas para el tratamiento de datos geográficos en 2 y 3 dimensiones, incluyendo algoritmos para el filtrado, proyección, superposición de mallas, etc. Consta de más de 60 programas individuales con varios paquetes suplementarios, y se entrega además una nutrida colección de registros SIG de libre utilización, que contienen costas, ríos, fronteras nacionales y coordenadas de otros objetos geográficos. Otros datos (fotografías desde satélites, modelos digitales de terreno, etc.) pueden ser convertidos e importados al sistema. GMT pone a disposición del usuario un conjunto de módulos orientados a la producción de cartografía a partir de datos codificados según los modelos lógicos (raster, vectorial, lista de puntos) habituales en los SIG. El manejo de estos módulos en línea de comandos y la posibilidad de combinarlos (entre sí y con otras herramientas UNIX) convierte GMT en un entorno de maqueta de mapas extremadamente flexible. Los mapas confeccionados se generan en formato *PostScript*.

A continuación se citan algunas de las características más importantes relativas tanto a la filosofía de su diseño, como a las posibilidades que ofrece GMT en el procesamiento y manipulación de datos y en la generación de imágenes *PostScript*:

- Integralidad: la perfecta integración con el entorno del sistema operativo Unix/Linux. El sistema está optimizado para su utilización en el intérprete de comandos del sistema operativo (c-shell) con el fin de permitir el uso de guiones en el procesamiento por lotes.
- Modularidad: el código empleado en la configuración de un mapa está formado por el uso de distintos módulos que realizan tareas específicas, que combinadas entre sí permiten lograr resultados complejos. Cada módulo admite múltiples opciones y parámetros que se codifican en formato Unix, con un guión seguido de una letra mayúscula, y a continuación seguido de todas las opciones variadas que aportan información de aspectos particulares del mapa que se va a crear.
- Procesamiento y manipulación de datos: muestreo de datos xyz, remuestreo, operaciones matemáticas, mezcla de redes, derivadas direccionales, proyecciones de datos, triangulaciones, estimación espectral, etc.
- Generación de imágenes *PostScript*: gráficos de puntos, líneas y polígonos, inclusión de texto, etiquetas y leyendas, histogramas, mapas básicos con líneas de costa, ríos y fronteras, perspectivas con iluminación, campos vectoriales, etc.

4.2.1. Instalación del software: GMT (Generic Mapping Tools)

Para desempeñar las tareas de diseño y desarrollo del software de visualización de información de terremotos, fue necesaria la instalación en el PC instalado en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía (PC-ESCUELA) del software GMT descrito anteriormente. Se presenta a continuación una guía que resume los principales pasos que se siguieron para su instalación, ejecutados directamente a través de la línea de comandos del terminal* y conforme a la distribución de Linux que rige como sistema operativo del ordenador (Ubuntu 11.10), junto con algunas de las operaciones informáticas más relevantes que se llevaron a cabo después de su instalación para personalizarlo y adaptarlo a nuestras necesidades de trabajo:

1. Se activa el repositorio¹¹ “universe”, es decir, en el fichero que contiene los repositorios del sistema, las correspondientes líneas no deben estar comentadas. Para lo cual se abre el terminal de línea de comandos que se

desea (gnome-terminal, konsole, yakuake, xterm, consola, etc.) y se edita el fichero de repositorios:

```
user@host:~$ sudo vi /etc/apt/sources.list
```

Se busca dentro del fichero la sección "universe" asegurándonos de que las líneas correspondientes, las que comienzan con "deb" y contienen "universe" al final, no tengan al principio el símbolo de comentario "#". Si lo tuvieran, se elimina. Si por alguna razón las líneas no apareciesen, se añadirían. Nos debe quedar así:

```
deb http://es.archive.ubuntu.com/ubuntu/ oneiric universe  
deb-src http://es.archive.ubuntu.com/ubuntu/ oneiric universe  
deb http://es.archive.ubuntu.com/ubuntu/ oneiric-updates universe  
deb-src http://es.archive.ubuntu.com/ubuntu/ oneiric-updates universe
```

2. Se regenera la base de datos de paquetes y se actualiza todo el sistema para que no queden dependencias de paquetes sin cumplir:

```
user@host:~$ sudo apt-get update && sudo apt-get upgrade
```

Nos aseguramos que no ha habido errores (no falló la conexión a internet, paquetes rotos y/o dependencias incumplidas), para lo cual se introduce el siguiente comando, que nos debe devolver el valor "0":

```
user@host:~$ echo $?
```

* **Nota:** en cursiva aparece la información que nos aparecerá en el terminal. En cursiva y negrita aparecen los comandos tal cual deben ser tecleados por el usuario.

¹¹ **Repositorio:** lugar donde se almacena y mantiene información digital, en este caso paquetes de software disponibles para su instalación mediante un gestor de paquetes.

3. Se buscan los paquetes "GMT":

```
user@host:~$ apt-cache search gmt  
...  
gmt - Generic Mapping Tools  
gmt-coast-low - costas en baja resolución para GMT  
gmt-doc - documentación HTML para GMT  
gmt-doc-pdf - documentación PDF para GMT  
gmt-doc-ps - documentación PostScript para GMT  
gmt-examples - ejemplos de scripts usando GMT  
gmt-manpages - manual para GMT  
gmt-tutorial - ficheros de datos necesarios para reproducir los ejemplos  
del tutorial de GMT  
gmt-tutorial-pdf - tutorial PDF para GMT  
gmt-tutorial-ps - tutorial PostScript para GMT  
...  
libgmt4 – biblioteca de GMT  
...
```

Observamos que tanto la documentación como el tutorial vienen en tres formatos diferentes: *HTML*, *PDF* y *PostScript*. Se instalan las versiones *HTML*:

```
user@host:~$ sudo apt-get install gmt gmt-coast-low gmt-doc gmt-  
examples gmt-manpages gmt-tutorial
```

Las bibliotecas "libgmt4" y/o "netcdf" se instalan automáticamente y no es necesario especificarlas en el comando de instalación anterior.

4. Se instalan las costas en alta resolución: en los repositorios sólo está `gmt-coast-low`, es decir, las costas en baja resolución, por lo que habrá que descargarse el fichero `GSHHS_high.tar.bz2` de la carpeta compartida `ftp://ibis.grld.noaa.gov/pub/gmt`, y extraer los ficheros relativos a costas, fronteras y ríos de extensión `.cfg` con la resolución deseada. A continuación se busca y se edita el fichero `coastline.conf` relativo a las costas y se añade el `path` para cada fichero extraído.
5. Se crea el fichero `gmtdefaults` que contiene las variables de usuario por defecto de GMT, eligiendo como opción unidades del S.I., y a continuación se editan y personalizan los parámetros relativos al mapa base, color, proyección, PostScript, etc. para adaptarlos a nuestras necesidades.
6. Desde hace algunas versiones GMT corre como un “wrapper”, es decir, un programa que hace de “envoltorio” para el resto de los programas que integran la “suite”, lo cual impedía ejecutar directamente los comandos desde la línea de comandos con sus parámetros. Por ejemplo, para ejecutar “psxy” habría que teclear `user@host $ GMT psxy <parámetros>`. Para ello se añade al `path` de búsqueda el directorio donde residen los binarios de GMT al fichero de inicio del Shell que viene por defecto en Ubuntu (bash), esto es, se edita el fichero `.bashrc` ubicado en el directorio `home` añadiendo al final del fichero la siguiente información:

```
# GMT stuff:
if [ -d /usr/lib/gmt/bin ]; then
    PATH=$PATH:/usr/lib/gmt/bin
fi
```

Por otro lado, la WEB pone a disposición de los usuarios la suscripción de forma totalmente gratuita a un foro de usuarios de GMT, en el cual el usuario puede intercambiar ideas y hacer preguntas para resolver dudas acerca del uso de comandos, problemas de instalación, etc. Para ello fue necesario inscribirse a una lista de correo formada por el colectivo de fundadores y usuarios de GMT en el mundo, de tal forma que cuando se lanza una duda o pregunta, ésta es recibida vía correo electrónico al resto de usuarios de la lista de correo quienes podrán aportar ideas, comentarios o soluciones de forma compartida. Durante el proceso de realización del proyecto se han realizado varias consultas por esta vía en relación a la construcción del mapa base, y de forma satisfactoria fueron resueltas gracias a las ideas y consejos puestas en común en dicho foro por parte de Paul Wessel y algunos usuarios.

4.2.2. Diseño del mapa de sismos próximos y mapa de sismos lejanos

4.2.2.1. Mapa de sismos próximos

El mapa de sismos próximos es una aplicación integrante de la Unidad de Visualización de información de terremotos que ofrece un servicio de aviso de eventos sísmicos en cuasi tiempo real. Se muestra al usuario, de forma gráfica y sobre la superficie de un mapa de la península Ibérica, la localización epicentral y la profundidad hipocentral de alertas de sismos próximos y terremotos próximos revisados de magnitud a partir de 3,5 grados, ocurridos en los últimos 30 días, y aporta información relativa a la magnitud y escala empleada. En la figura 4.5 se muestra un diagrama de bloques que representa la formación de dicho mapa de sismicidad en la península Ibérica.

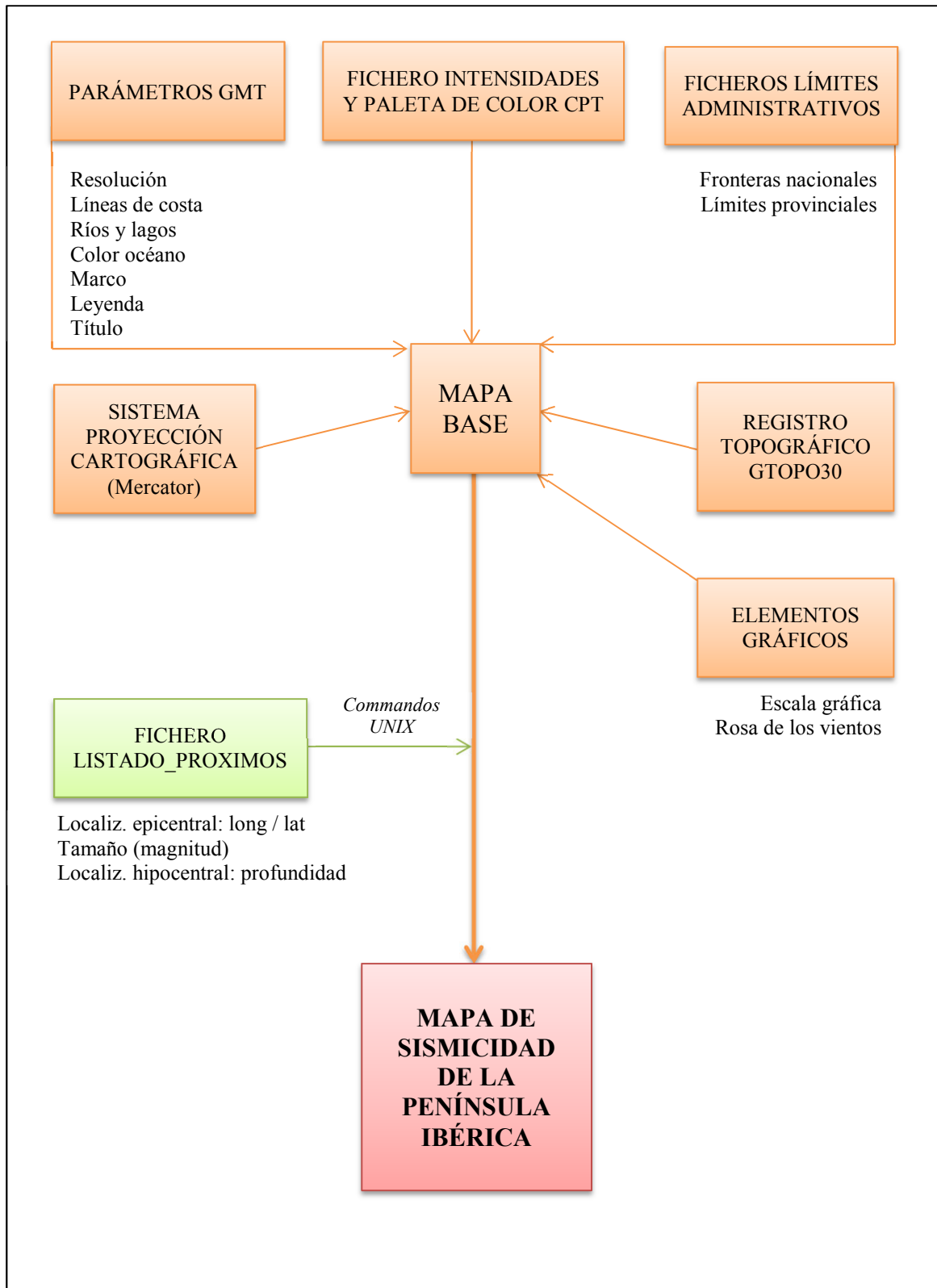


Figura 4.5: Diagrama de bloques de la confección del mapa de sismicidad en la península Ibérica, a partir del fichero `LISTADO_PROXIMOS` y por medio de la aplicación `mapasis.gmt` desarrollada con código GMT, que representa los eventos y alertas de sismos próximos de magnitud mayor de 3,5 grados, revisadas y ocurridas en los últimos 30 días.

La aplicación desarrollada recibe el nombre de “mapasis.gmt” (Anexo 12), mediante la cual se confecciona el mapa de sismicidad en la península Ibérica en proyección Mercator¹² (Figura 4.6), y cuyo script está programado para realizar varias tareas. En primer lugar, llevar a cabo la confección del mapa base y su particular diseño, con el fin de dotarle de las propiedades y aspecto acorde a las necesidades de representación de la sismicidad. Cabe destacar las siguientes operaciones:

- Se descarga del registro topográfico GTOPO30¹³ los ficheros W020N90.dem y W020N40.dem que comparten un lado común y abarcan el área que ocupa la península Ibérica, y se edita el fichero *grdraster.info* del directorio de trabajo de acuerdo a dicha información. Se extrae un grid de una subregión de interés para formar el relieve, que encuadra a la península Ibérica y zonas de actividad sísmica próximas. El fichero de salida se pasa a formato GMT.
- Se crean un fichero de intensidades que plasma un juego de luces y sombras con un cierto ángulo de iluminación, y una paleta CPT que asigna un color a cada altura. Ambos ficheros son empleados para dotar de un aspecto personalizado al relieve del mapa.
- Se define un sistema de proyección cartográfica apropiado, donde se ha optado por utilizar la proyección Mercator.
- Se dibuja el mapa mediante el uso de diversos comandos y parámetros que permiten especificar y personalizar la resolución, las líneas de costa, la presencia de ríos y lagos o el color del océano. Se incluye una escala gráfica para medir distancias válidas sobre el paralelo de latitud 40°, una rosa de los vientos, las fronteras/límites provinciales y la leyenda. Para la creación y diseño del marco del mapa se definen una serie de parámetros que especifican cada cuántos grados se trazan las divisiones en blanco y negro y se establecen referencias numéricas de la longitud y latitud.

¹² **Mercator:** la proyección de Mercator es una proyección cartográfica cilíndrica directa, conforme (conserva los ángulos), no es ni equidistante ni equivalente, y en la que los Meridianos son representados por líneas rectas paralelas con la misma separación y los Paralelos por líneas rectas paralelas y perpendiculares a los Meridianos cuya separación aumenta a medida que aumenta la latitud. La elección como proyección cartográfica para el mapa de sismicidad en la Península Ibérica se debe a que la representación de terremotos es más sencilla al ser líneas rectas los Paralelos y Meridianos.

¹³ **GTOPO30:** modelo digital de elevaciones (DEM) global, que abarca toda la superficie del mundo. Fue desarrollado por USGS y tiene una resolución de 30’’ de arco (aproximadamente 1 km), que lo forman un conjunto de 33 porciones de área.

En segundo lugar, llevar a cabo la confección del sistema para representar la información contenida en el fichero *listado_proximos* para cada uno de los terremotos y alertas de sismos próximos del listado, mediante el uso de símbolos de tamaños y colores claramente legibles, interpretables y descritos en una leyenda, que muestren en el mapa los parámetros de localización epicentrales e hipocentrales, y los parámetros de tamaño (magnitud). Así pues, se programa el código, enlazando comandos de Unix y GMT, para realizar un estudio de condiciones conjuntas entre los valores de tamaño y profundidad hipocentral y generar a continuación un símbolo, el cual es posicionado en el mapa a partir de las coordenadas geográficas de cada epicentro. En cuanto al tamaño se refiere, se han representado en la leyenda a modo de ejemplo tres valores de magnitud, junto con sus símbolos correspondientes acordes en tamaño. Cada terremoto es representado por un símbolo (bolita) que aumenta de radio según aumenta la magnitud, pero no de forma lineal sino que obedece a la fórmula $Radio = 2^{mag} / 330$, con el fin de ofrecer un aspecto de incremento exponencial como ocurre con la



Figura 4.6: Imagen PostScript del mapa de sismos próximos en proyección Mercator, confeccionada mediante la aplicación “mapasis.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar la sismicidad en la península Ibérica y zonas de actividad sísmica próximas en cuasi tiempo real.

escala logarítmica de magnitud para cuantificar el tamaño del terremoto. En cuanto a la localización del hipocentro, la profundidad en km se divide en tres rangos de valores como se observa en la leyenda, y a cada uno de los cuales se le asigna un color diferente. De esta forma, cada bolita de epicentro es coloreada conforme a la profundidad del hipocentro del terremoto representado.

El tiempo de ejecución empleado en la generación de la imagen PostScript del mapa de sismos próximos, desde el momento en que se corre la aplicación “mapasis_prox.gmt” de forma automática al detectar un nuevo fichero *listado_proximos*, estaba muy próximo a los 2 minutos. Debido a que la consulta a la bandeja de entrada del correo para detectar la llegada de nuevos correos y la formación del fichero *listado_proximos* a partir de ellos, son dos de las tareas que se han programado para que se ejecuten automáticamente cada 2 minutos mediante un Cron, se decidió crear una nueva aplicación para generar una imagen PostScript del mapa de sismos próximos, sin la representación de la sismicidad, y convertirla a formato raster. Así pues, se desarrolló una nueva aplicación llamada “im_mapasis.gmt” (Anexo 9), que realiza las mismas operaciones que “mapasis_prox.gmt”, con la diferencia de que emplea la imagen de la península Ibérica en formato *raster* como imagen de fondo para ahorrar tiempo de procesado en su generación.

4.2.2.2. Mapa de sismos lejanos

El mapa de sismos lejanos es otra aplicación integrante de la Unidad de Visualización de información que ofrece un servicio de aviso de eventos sísmicos en cuasi tiempo real. Se muestra al usuario, de forma gráfica y sobre la superficie de un mapa del mundo, la localización epicentral de alertas de sismos lejanos y terremotos lejanos revisados de magnitud a partir de 5,5 grados, ocurridos en los últimos 30 días, y aporta información relativa a la magnitud y escala empleada. En el IGN se realiza un filtro en el orden de magnitud de los telesismos que se envían y que representamos en el mapa de sismicidad mundial, en función de la zona de ocurrencia y la profundidad (h):

- En Europa, telesismos superficiales ($h < 100$ km) a partir de 5,5 grados y profundos ($h > 100$ km) a partir de 6 grados.
- En el resto del mundo, telesismos superficiales ($h < 100$ km) a partir de 6 grados y profundos ($h > 100$ km) a partir de 6,5 grados.

En la figura 4.7 se muestra un diagrama de bloques que representa la formación de dicho mapa de sismicidad mundial.

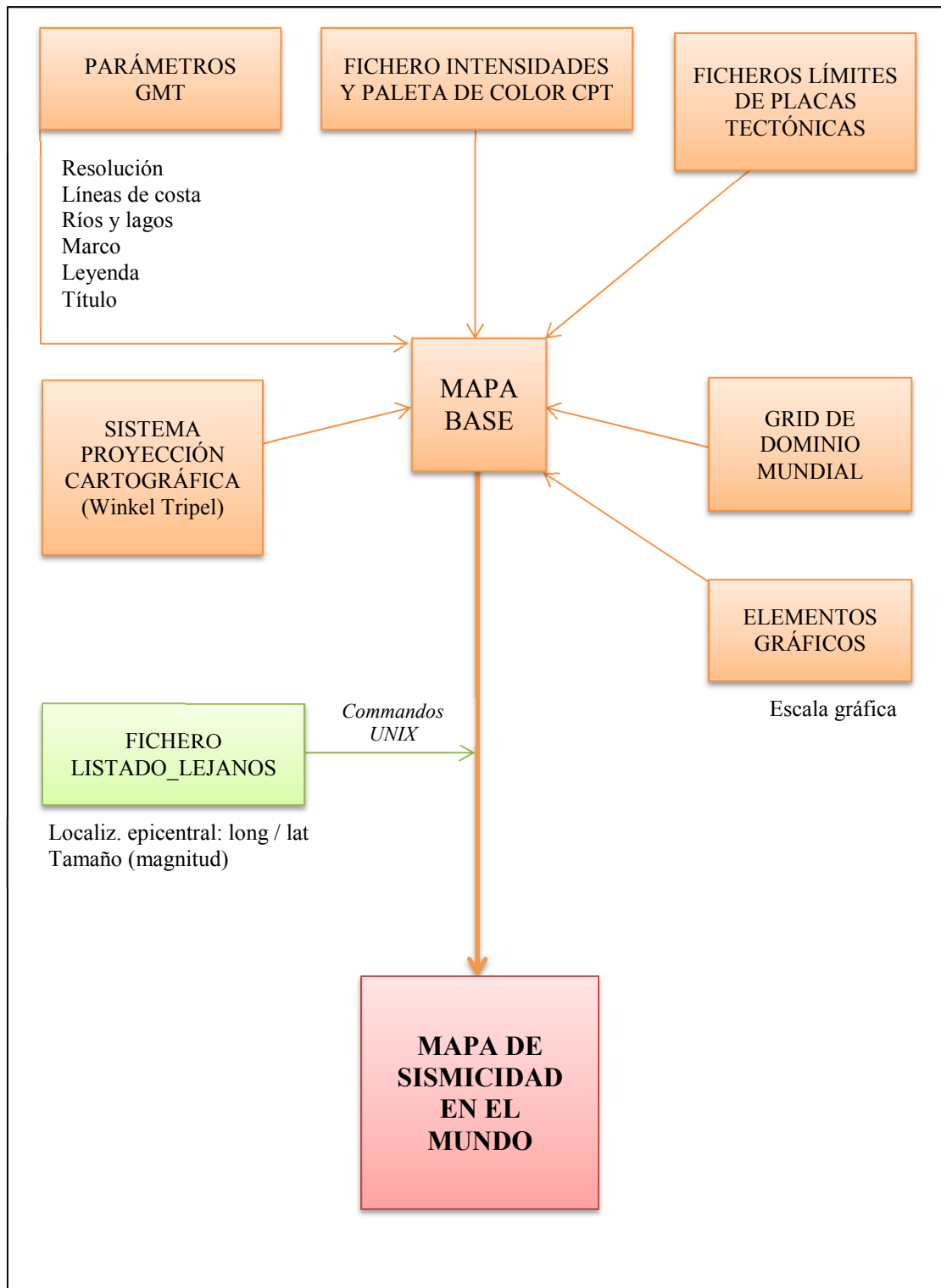


Figura 4.7: Diagrama de bloques de la confección del mapa de sismicidad en el mundo, a partir del fichero LISTADO_LEJANOS y por medio de la aplicación mundosis.gmt” desarrollada con código GMT, que representa los eventos y alertas de sismos lejanos de magnitud mayor de 5,5 grados, revisadas y ocurridas en los últimos 30 días.

La aplicación desarrollada recibe el nombre de “mundosis.gmt” (Anexo 14), mediante la cual se confecciona el mapa de sismicidad mundial en proyección Winkel Tripel¹⁴ (Figura 4.8), y cuyo script está programado para realizar varias tareas. En primer lugar, llevar a cabo la confección del mapa base y su particular diseño, con el fin de dotarle de las propiedades y aspecto acorde a las necesidades de representación de la sismicidad. Cabe destacar las siguientes operaciones:

- Se crea un grid de dominio mundial y se posiciona de forma que la península Ibérica quede centrada en longitud, es decir, se muestra el globo terrestre con una longitud entorno al meridiano de Greenwich (longitud de -180° a 180°), y una latitud entorno al Ecuador (latitud de -90° a 90°).
- Se crea un fichero de intensidades, que plasma un juego de luces y sombras con un cierto ángulo de iluminación, y una paleta CPT, que asigna un color a cada altura.
- Se define un sistema de proyección cartográfica apropiado, donde se ha optado por utilizar la proyección Winkel Tripel.
- Se dibuja el mapa mediante el uso de diversos comandos y parámetros que permiten especificar y personalizar la resolución, las líneas de costa, la presencia de ríos y lagos. Se incluye un rótulo de escala para relacionar los colores de la paleta CPT con la altimetría y batimetría correspondiente y la leyenda. Para la creación y diseño del marco del mapa se definen una serie de parámetros que especifican cada cuántos grados se trazan las divisiones en blanco y negro y se establecen referencias numéricas de la longitud y latitud. Mediante ficheros de puntos se trazan unas líneas de color amarillo que representan los límites de placas tectónicas, ofreciendo al usuario la posibilidad de poder relacionar dichos límites con la actividad sísmica de origen tectónico.

En segundo lugar, llevar a cabo la representación de la información contenida en el fichero *listado_lejanos* para cada uno de los terremotos y alertas sísmicas lejanas del listado, mediante el uso de símbolos de tamaños claramente legibles, interpretables y descritos en una leyenda, que muestren en el mapa los parámetros de localización epicentrales y los parámetros de tamaño (magnitud). Así pues, se programa el código mediante comandos de Unix y GMT para realizar un estudio de condiciones en los

valores de tamaño y generar a continuación un símbolo, el cual es posicionado en el mapa a partir de las coordenadas geográficas de cada epicentro. En cuanto al tamaño se refiere, se han representado en la leyenda a modo de ejemplo tres valores de magnitud, junto con sus símbolos correspondientes acordes en tamaño. Cada terremoto es representado por un símbolo (bolita) que aumenta de radio según aumenta la magnitud, pero no de forma lineal sino que obedece a la fórmula $Radio = 2^{mag} / 330$, con el fin de ofrecer un aspecto de incremento exponencial como ocurre con la escala logarítmica de magnitud para cuantificar el tamaño del terremoto. En este caso la información relativa a la profundidad del hipocentro no es mostrada, y todos los símbolos se pintan de color rojo.

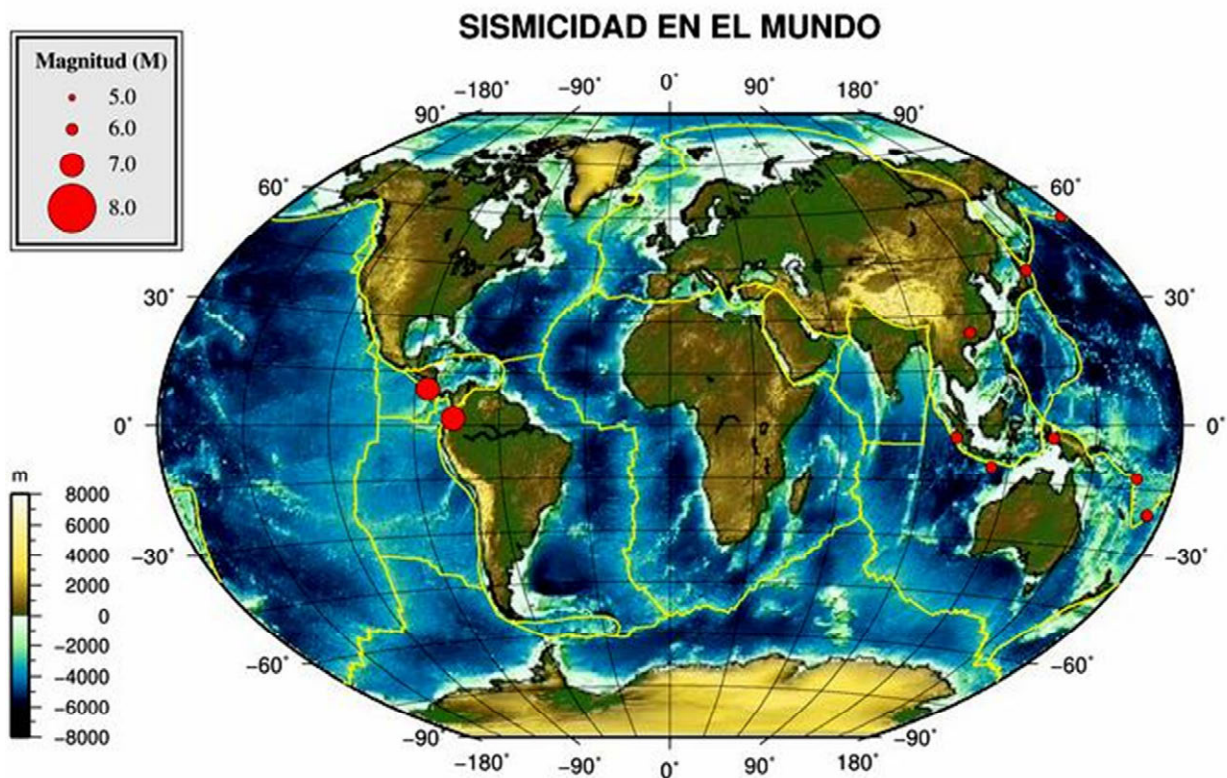


Figura 4.8: Imagen PostScript del mapa de sismos lejanos en proyección Winkel Tripel, confeccionada mediante la aplicación “mundosis.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar la sismicidad mundial en cuasi tiempo real.

¹⁴ **Winkel Tripel:** La proyección de Winkel-Tripel (Winkel III) es una proyección cartográfica azimutal modificada, propuesta por Oswald Winkel en 1921, que genera pequeños errores en áreas, ángulos y distancias. La proyección es la media aritmética entre la proyección cilíndrica equidistante y la proyección de Aitoff, en la que el Ecuador y el meridiano central son líneas rectas y el resto de paralelos y meridianos son curvos. En 1998, la proyección de Winkel-Tripel reemplazó a la proyección de Robinson como proyección estándar para los mapamundis hechos por la National Geographic Society.

El tiempo de ejecución empleado en la generación de la imagen PostScript del mapa de sismos lejanos, desde el momento en que se corre la aplicación “mapasis_lej.gmt” de forma automática al detectar un nuevo fichero *listado_lejanos*, superaba con creces los 2 minutos de tiempo empleados por el Cron programado para detectar la llegada de nuevos correos y formar el fichero *listado_lejanos* a partir de ellos, como se ha mencionado anteriormente. Se decidió crear una nueva aplicación para generar la imagen PostScript del mapa de sismos lejanos, sin la representación de la sismicidad, y convertirla a formato raster. Así pues, se desarrolló una nueva aplicación llamada “im_mundosis.gmt” (Anexo 10), que realiza las mismas operaciones que “mapasis_lej.gmt”, con la diferencia de que emplea la imagen del mundo en formato *raster* como imagen de fondo para ahorrar tiempo de procesado en su generación.

4.2.3. Diseño de los mapas de detalle

Los mapas de detalle son nuevas aplicaciones integrantes de la Unidad de Visualización de datos que muestran al usuario, con un símbolo gráfico en forma de estrella sobre la superficie de un mapa de detalle a mayor escala, la localización epicentral de un evento sísmico aislado. A diferencia de los mapas de sismos próximos o lejanos, en los que el tamaño del mapa era predefinido de forma fija en el script de la aplicación, en este caso el mapa se centra automáticamente en las coordenadas del epicentro del terremoto que va a ser representado y es escalado de la siguiente forma: al valor de la longitud y latitud del epicentro se le suma y resta un valor fijo predefinido en grados para calcular las longitudes y latitudes mínimas y máximas que definen el marco. Se han desarrollado dos aplicaciones distintas:

- “mapasis_detalle.gmt” (Anexo 11), que confecciona un mapa de detalle en proyección Mercator (Figura 4.9), que provee la localización del epicentro de la última alerta sísmica de un sismo próximo de magnitud $> 3,5$ grados en cuasi tiempo real, después de ser calculada de forma automática, revisada y enviada desde el IGN a *terremoto@topografia.upm.es*.
- “mundosis_detalle.gmt” (Anexo 13), que confecciona un mapa de detalle en proyección Winkel-Tripel (Figura 4.10), que provee la localización del epicentro de la última alerta sísmica de un sismo lejano de magnitud $> 5,5$ grados en cuasi tiempo real, después de ser calculada de forma automática, revisada y enviada desde el IGN a *terremoto@topografia.upm.es*.

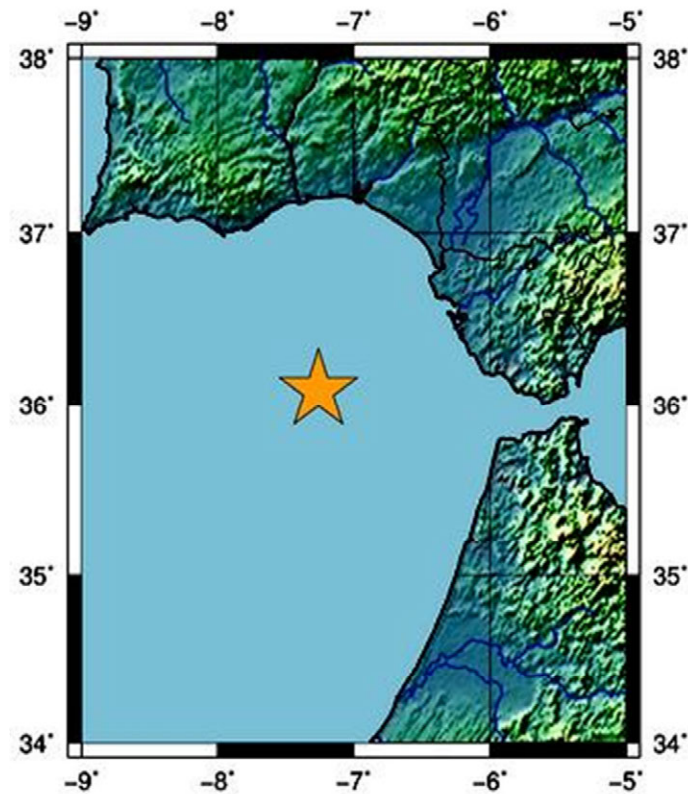


Figura 4.9: Imagen PostScript del mapa de detalle de alerta sísmica de un sismo próximo en proyección Mercator, confeccionada mediante la aplicación “mapa_al_prox.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar la localización del epicentro de la última alerta de un sismo próximo en cuasi tiempo real, concretamente el terremoto 1142581 de magnitud 3,7 mb al sur del Cabo de San Vicente.

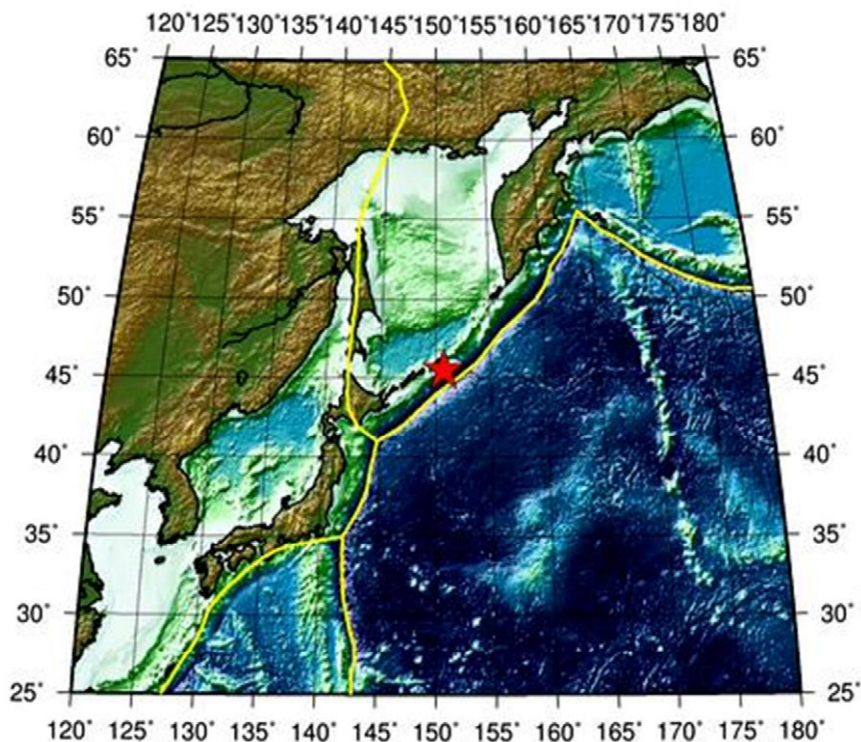


Figura 4.10: Imagen PostScript del mapa de detalle de alerta sísmica de un sismo lejano en proyección Winkel Tripel, confeccionada mediante la aplicación “mapa_al_lej.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar la localización del epicentro de la última alerta de un sismo lejano en cuasi tiempo real, concretamente el terremoto ign2012rvwy de magnitud 5,9 Mw mB en las Islas Kuriles.

4.2.4. Diseño de los listados de terremotos

Los listados de los terremotos (Tabla 4.1) son una parte integrante de la Unidad de Visualización de información de terremotos, y consisten en aplicaciones que presentan de forma textual al usuario una serie de listados o tablas donde se ordenan los terremotos que están siendo visualizados en los mapas de sismos. Constituyen una forma sintetizada de ofrecer la información de cada terremoto registrado y calculado, contribuyendo a una mejor comprensión de los resultados para el usuario, ya que muestran los datos mediante valores numéricos precisos y constituyen un complemento a la información gráfica/visual de los mapas de sismos.

En cada listado de terremotos los eventos se presentan ordenados temporalmente por filas, donde el terremoto más reciente ocupa la fila superior. Una cabecera ordena en columnas la información relativa a cada terremoto: el código del terremoto, la información temporal (fecha y hora de ocurrencia), los parámetros de localización (coordenadas geográficas del epicentro, región y profundidad del hipocentro) y parámetros de tamaño (magnitud).

En primer lugar se programó la aplicación “crea_tablas” (Anexo 6), que tiene como misión la creación de los archivos de texto que contendrán los distintos listados de terremotos, y se resume en las siguientes operaciones:

- Capturar el listado de eventos de cada uno de los ficheros que fueron formados mediante la aplicación “saco”, a partir del correo recibido en la cuenta *terremoto@topografia.upm.es*.
- Añadir la cabecera, intercalando entre las columnas una combinación de símbolos equivalentes a los espacios en blanco, para que sean interpretables en GMT.

Los archivos de texto resultantes son: *txt_listado_prox*, *txt_listado_lej*, *txt_alerta_prox* y *txt_alerta_lej*.

En segundo lugar se programaron mediante código de GMT las aplicaciones “tabla_listado_proximos” (Anexo 24), “tabla_listado_lejanos” (Anexo 23), “tabla_alerta_proximo” (Anexo 22) y “tabla_alerta_lejano” (Anexo 21), que tienen como misión la creación y diseño de las imágenes PostScript de los distintos listados de

terremotos que se ven en el monitor de la unidad de visualización, a partir de los distintos archivos de texto creados anteriormente con “crea_tablas”.

TERREMOTO	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	MAG	LOCALIZACIÓN
ign2012lyt1	2012-06-19	04:36:16	-19.9300	174.9400	10	6.1 mb	TONGA ISLANDS
ign2012lynv	2012-06-19	01:46:18	39.1300	29.2200	50	5.1 MLv	TURKEY
ign2012lvat	2012-06-17	03:43:11	-8.3800	160.3800	45	6.3 Mw (mB)	SOLOMON ISLANDS REGION
ign2012luqb	2012-06-16	22:18:53	15.6500	119.6400	83	6.3 Mw (mB)	LUZON, PHILIPPINE ISLANDS
ign2012lrex	2012-06-15	01:14:11	5.5600	125.9600	52	6.0 mb	MINDANAO, PHILIPPINE ISLANDS
ign2012lqyf	2012-06-14	21:51:25	42.0700	84.2300	10	5.4 mb	NORTHERN XINJIANG, CHINA
ign2012lkfk	2012-06-11	05:29:13	36.0500	69.2900	19	5.5 Mw (mB)	HINDU KUSH, AFGHANISTAN, REG
ign2012lken	2012-06-11	05:02:22	35.9200	69.3600	107	5.2 mb	HINDU KUSH, AFGHANISTAN, REG
ign2012liyh	2012-06-10	12:44:18	36.4000	28.8800	54	5.7 Mw (mB)	DODECANESE ISLANDS, GREECE
ign2012lhtd	2012-06-09	21:00:19	24.5600	122.2100	78	6.1 Mw (mB)	TAIWAN REGION
ign2012lfoh	2012-06-08	16:15:15	30.0800	50.6500	10	5.0 mb	NORTHERN AND CENTRAL IRAN
ign2012ldsks	2012-06-07	16:03:20	-15.9600	-72.6100	108	6.1 Mw (mB)	SOUTHERN PERU
ign2012ldes	2012-06-07	09:12:11	71.3700	105.2400	10	5.8 mb	NORTHWEST TERRITORIES, CANAD
ign2012lden	2012-06-07	09:01:45	-20.1000	176.3400	208	6.5 Mw (mB)	FIJI ISLANDS REGION
ign2012lcut	2012-06-07	04:05:06	-36.0900	-70.9400	10	5.6 mb	CHILE-ARGENTINA BORDER REGIO
ign2012laii	2012-06-05	19:31:38	34.9400	141.1200	47	6.2 Mw (mB)	OFF EAST COAST OF HONSHU, JA
ign2012kxwp	2012-06-04	11:18:17	-7.6000	106.4200	78	6.1 Mw (mB)	JAWA, INDONESIA
ign2012kxgr	2012-06-04	03:15:26	5.4700	-82.2700	10	6.3 Mw (mB)	SOUTH OF PANAMA
ign2012kxxt	2012-06-04	00:45:16	5.2400	-82.7200	10	6.0 Mw (mB)	SOUTH OF PANAMA
ign2012ktyx	2012-06-02	07:52:53	-22.1700	-63.7000	528	5.8 Mw (mB)	SALTA PROVINCE, ARGENTINA
ign2012ktye	2012-06-02	07:31:09	-22.1200	-63.4900	510	5.0 mb	SALTA PROVINCE, ARGENTINA
ign2012ksbo	2012-06-01	06:56:20	-1.0700	133.6300	46	6.2 Mw (mB)	IRIAN JAYA, INDONESIA, REGIO
ign2012kpnc	2012-05-30	21:20:55	43.3700	78.7600	10	5.8 Mw (mB)	LAKE ISSYK-KUL, KYRGYZSTAN RE
ign2012kokp	2012-05-30	06:55:54	28.6400	52.2900	63	5.0 mb	SOUTHERN IRAN
ign2012kma	2012-05-29	10:55:58	45.0000	11.0900	10	5.2 Mw (mB)	NORTHERN ITALY
ign2012kmpg	2012-05-29	07:00:05	44.9700	11.1300	10	5.7 Mw (mB)	NORTHERN ITALY
ign2012kmi1	2012-05-29	03:33:23	-21.9900	179.5500	571	5.9 mb	FIJI ISLANDS REGION
ign2012k1xa	2012-05-28	21:47:03	-19.8800	176.0000	143	6.0 mb	FIJI ISLANDS REGION
ign2012kljd	2012-05-28	11:50:56	-28.1700	-63.1100	583	5.5 mb	SANTIAGO DEL ESTERO ARGENTIN
ign2012kkqb	2012-05-28	05:07:22	-28.1300	-63.2100	579	6.5 Mw (mB)	SANTIAGO DEL ESTERO ARGENTIN
ign2012kigd	2012-05-26	21:48:11	26.8300	140.1300	497	5.8 Mw (mB)	BONIN ISLANDS, JAPAN, REGION
ign2012kerd	2012-05-24	22:47:47	73.1200	5.8400	10	6.1 Mw (mB)	GREENLAND SEA
ign2012kekg	2012-05-24	19:18:54	-36.9500	-70.6300	142	5.5 mb	CHILE-ARGENTINA BORDER REGIO
ign2012kcws	2012-05-23	23:19:22	-50.1700	140.0700	10	5.6 mb	WESTERN INDIAN-ANTARCTIC RID
ign2012kcqi	2012-05-23	15:02:24	41.8700	141.6700	19	6.4 Mw (mB)	HOKKAIDO, JAPAN, REGION
ign2012jzhd	2012-05-22	00:00:35	42.7500	23.0500	23	5.4 Mw (mB)	BULGARIA
ign2012jwhj	2012-05-20	08:41:54	39.6200	142.5000	73	5.3 mb	NEAR E.CST EASTERN HONSHU
ign2012jwgr	2012-05-20	08:21:02	39.6800	143.0300	42	5.6 mb	OFF EAST COAST OF HONSHU, JA
ign2012jwer	2012-05-20	07:19:59	39.3800	143.3200	42	6.3 Mw (mB)	OFF EAST COAST OF HONSHU, JA

Tabla 4.1: Imagen PostScript del listado de telesismos, confeccionada mediante la aplicación “tabla_listado_lejanos.gmt” a partir de comandos y parámetros de GMT, que permite visualizar tanto el momento de ocurrencia como los parámetros de localización y tamaño de los terremotos de magnitud a partir de 5,5 grados representados en el mapa de sismicidad mundial. En este listado en concreto aparecen los telesismos ocurridos entre el 20/05/2012 y el 19/06/2012.

4.3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN DE REGISTROS GRÁFICOS DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA REGISTRADA Y ANALIZADA

Se ha explicado cómo la actividad sísmica es registrada de forma continua por el sismómetro de la estación sísmica de banda ancha de Guadarrama, donde la señal de los dos sensores horizontales (componentes E y N) y el sensor vertical (componente Z) es digitalizada y etiquetada con el tiempo de referencia UTC por medio del GPS. El flujo de datos es comprimido, ensamblado en paquetes y enviado en tiempo real, en primer lugar y vía GPRS/UMTS, hacia el centro de recepción de datos sísmicos en el centro de recepción de la RSN de la sede central del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y desde ahí, en segundo lugar y vía Internet bajo protocolo de flujo de datos digitales UDP, hacia el PC instalado en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía. Una vez que el flujo de datos llega al PC de la escuela a través de una dirección IP, es recibido por el software Scream, configurado de forma que los datos sísmicos sean registrados en el disco duro del ordenador en ficheros de datos en formato SAC, cada uno de una hora de duración, formando de esta manera una base de datos distinta para cada componente de movimiento (Figura 4.11).

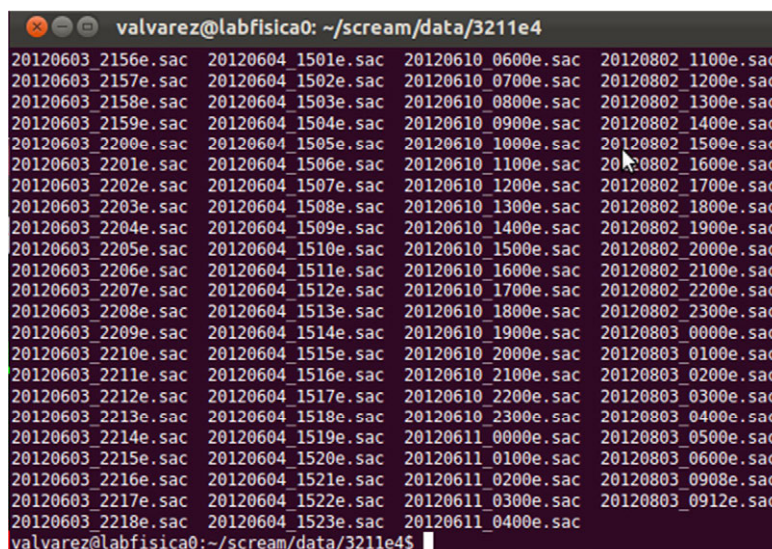


Figura 4.11: Imagen que muestra el directorio donde se almacenan de forma automática los ficheros de datos sísmico, de una hora de duración y en formato SAC, correspondientes en este caso a la componente Este-Oeste (e) de movimiento.

En este apartado se describe el software que ha sido desarrollado y diseñado con el objeto de visualizar los registros gráficos de la actividad sísmica, a partir de dichos ficheros de datos y haciendo uso de las herramientas que ofrece el programa SAC (Seismic Analysis Code), **Goldstein y Minner (1995)**. Estos registros gráficos

representan la velocidad del movimiento del suelo ante la ocurrencia de un terremoto por medio de la construcción de dos imágenes distintas. En primer lugar se desarrollan aplicaciones encargadas de la segmentación, es decir, de la construcción de un sismograma digital que muestra la forma de onda de las tres componentes de movimiento, correspondiente a cada terremoto y alerta sísmica de cada terremoto registrado por GUD. En segundo lugar se desarrollan aplicaciones que se encargan de construir una película animada en formato *.gif*, correspondiente a la componente vertical del movimiento en dicha segmentación.

SAC (también conocido como SAC2000), es un código de procesamiento y análisis de señales sísmicas, desarrollado en Lawrence Livermore National Laboratory, que ha sido empleado como herramienta en una gran variedad de proyectos de investigación. Se ha convertido en un programa diseñado como ayuda para la comunidad de investigación sismológica para las señales secuenciales, especialmente series cronológicas de datos, que funciona bajo sistema operativo Unix/Linux. SAC es utilizado ampliamente por la comunidad sísmica en el estudio detallado de los eventos sísmicos debido a que:

- 1) tiene una amplia gama de herramientas de análisis de datos probadas y eficientes, tales como inspección de datos, picado de fases sísmicas, corrección de la señal, control de calidad, operaciones aritméticas generales de datos unitarios y binarios, transformadas de Fourier, técnicas de estimación espectral, filtrado IIR y FIR, decimación, interpolación, análisis de las curvas de tiempo de recorrido (curvas dromocrónicas), espectrogramas y sonogramas y análisis de tres componentes.
- 2) presenta facilidad de uso y fiabilidad.
- 3) la forma de trabajar e interactuar con el programa es mediante comandos escritos directamente en el terminal, o bien mediante la construcción de archivos macros que contienen un conjunto de comandos SAC para ser ejecutados en conjunto.
- 4) es compatible con el sistema operativo Unix/Linux, Matlab y el software Generic Mapping Tools (GMT).

4.3.1. Instalación del software: SAC (Seismic Analysis Code)

El software SAC está disponible para los miembros de IRIS y afiliados. A partir de octubre de 2006, IRIS también puede distribuir el software SAC a sus colaboradores como el United States Geological Survey (USGS), el Centro de Aplicaciones Técnicas

de la Fuerza Aérea (AFTAC) y los miembros de la International Federation of Digital Seismograph Networks y de otros institutos sismológicos fuera de Estados Unidos involucrados en proyectos de investigación con IRIS. Es por ello que para solicitar una copia del software es necesario completar el formulario de acuerdo a las necesidades del usuario que se encuentra en la WEB de IRIS http://www.iris.edu/software/sac/sac_request.htm, debiendo aceptar las condiciones de la licencia de SAC y aportar datos relativos a la identidad, puesto y organización a la que pertenece el solicitante, dirección y plataforma del sistema operativo sobre el que correrá el programa (en nuestro caso Linux 32-bit (3,6MB) en Debian), junto con un tutorial SAC y guía de usuario, aunque a gran parte de los contenidos del manual del usuario se puede acceder desde el programa mediante los comandos de ayuda.

Después de realizada la petición, se recibe un correo de respuesta con los archivos en formato comprimido *.tar* necesarios para la instalación de la versión actual 101.5c (Febrero 2012). Se describen a continuación los principales pasos que se siguieron para su instalación desde la terminal:

1. Con privilegios de superusuario “*root*” se descomprime el archivo *sac-101.5-linux_x86_32.tar.gz* en la carpeta *usr/local/*
2. Se asignan permisos.
3. Se edita el fichero *.bashrc* ubicado en el directorio *home*, y se añade al final la siguiente información para las variables de entorno SAC:

```
export SACHOME=/usr/local/sac  
export PATH=${PATH}:${SACHOME}/bin  
export SACAUX=${SACHOME}/aux  
export SAC_PPK_LARGE_CROSSHAIRS=1
```

4. Para ejecutar el programa SAC instalado, se inicia una consola de usuario y se ejecuta el comando *sac*, y es cuando aparece en la terminal la cabecera de información y la línea de introducción de comandos para comenzar a interactuar:

```
SEISMIC ANALYSIS CODE [06/02/2012 (Version 101.5)]  
Copyright 1995 Regents of the University of California  
SAC>
```

4.3.2. Segmentación

El objetivo que se persigue es definir un segmento de la señal sísmica registrada por GUD y almacenada por Scream, para cada uno de los eventos que se incluyen en los mensajes de correo y se envían desde la sede central del IGN a la cuenta de correo asociada al proyecto. La segmentación permite extraer del registro continuo y construir un registro gráfico de la señal sísmica, consistente en un sismograma digital de tres componentes perpendiculares que muestra, en unos ejes velocidad-tiempo, la forma de onda vinculada a cualquier terremoto registrado en la estación sísmica GUD, y que representa la velocidad del movimiento del suelo generado por las ondas sísmicas a su paso por la estación (Figura 4.12).

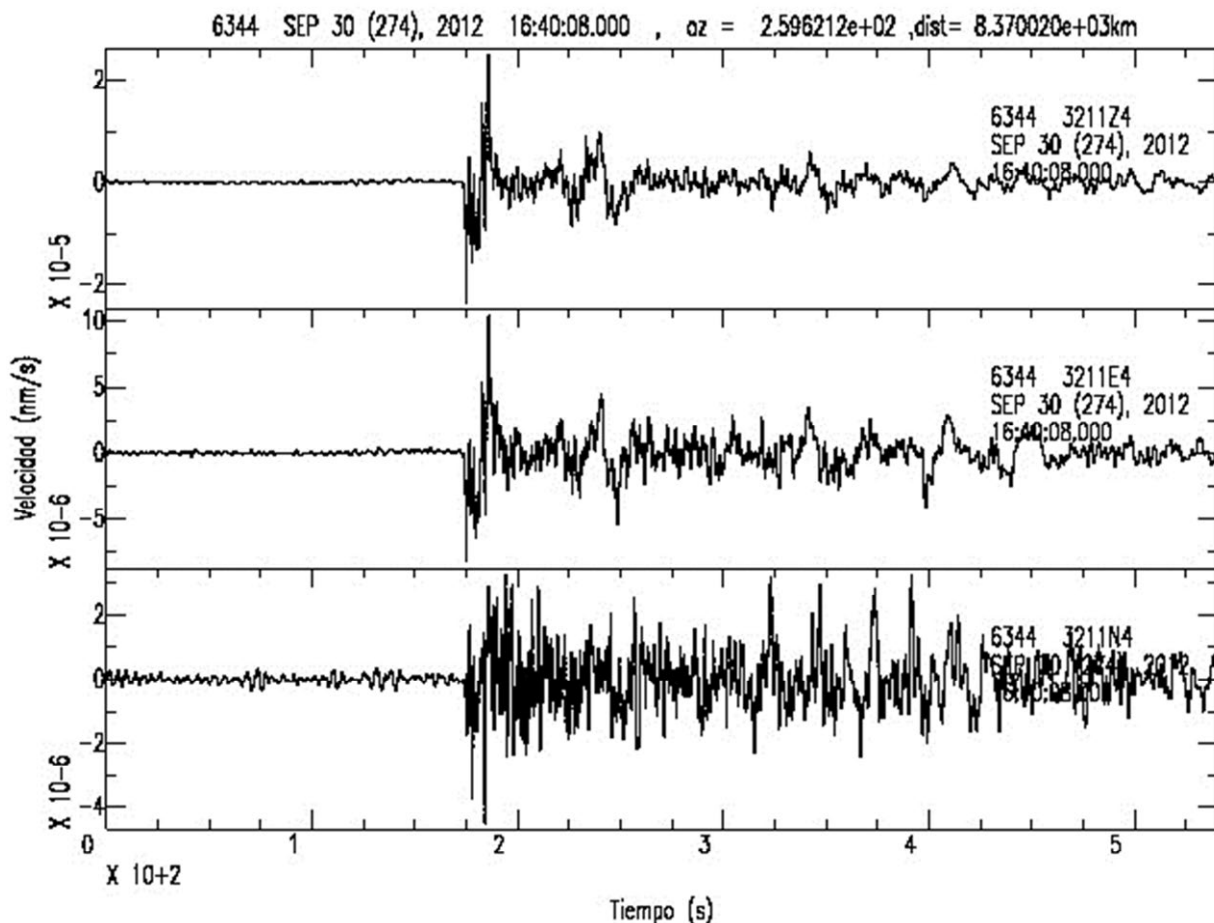


Figura 4.12: Imagen PostScript del sismograma digital de tres componentes, confeccionada mediante la aplicación “segmentar_lejano” en SAC, que permite visualizar la forma de onda del telesismo ign2012tfsr, de magnitud 7,2 Mw mB y profundidad 175 km en Colombia, registrado por la estación GUD el día 30 de Septiembre de 2012 a las 16:31:37 horas.

Para llevar a cabo la extracción, construcción y el diseño del sismograma se desarrollaron las aplicaciones “segmentar_proximo” (Anexo 20) y “segmentar_lejano” (Anexo 19) mediante comandos de Unix y SAC, cuyo objetivo es el siguiente:

1. A partir del fichero de alerta sísmica de cada terremoto registrado por GUD se extraen los datos del evento: identificador único (evid), hora origen del terremoto (año, mes, día, hora, min, sec) y localización (evla, evlo).
2. Haciendo uso del comando *htoe*, se calcula el tiempo *Epoch*¹⁵ del evento y del fichero que contiene la hora origen del evento. Además, con el fin de asegurarse de que el evento no quede fuera de los límites de dicho fichero, se calcula el tiempo de los ficheros anterior y posterior, ya que podría darse el caso de que el terremoto transcurriese durante un cambio de hora.
3. Haciendo uso del comando *etoh*, se realiza la operación inversa para pasar de tiempo *Epoch* a tiempo UTC, y poder construir así los nombres de los tres ficheros por cada componente a leer de la base de datos dentro de SAC.
4. Dentro de SAC, se cargan los datos y se construye el fichero de la primera muestra, al que se le pasan los valores de la cabecera.
5. Fuera de SAC, desde el *Shell* se lee el fichero de la primera muestra y se calcula su tiempo *Epoch*. A partir de los tiempos calculados del evento y de la primera muestra en tiempo *Epoch*, se calcula por diferencia de ambos valores t_0 , que correspondería al número de segundos transcurridos desde la primera muestra a la hora origen.
6. Al valor de la hora origen extraída de la alerta hay que sumarle el tiempo de llegada de las primeras ondas sísmicas a la estación de registro GUD en Guadarrama, t_p , tal y como se explicará en el apartado 4.3.2.1. En torno a este valor se define la duración temporal del segmento, con el fin

¹⁵ **Epoch:** El tiempo Epoch es la hora actual medida en número de segundos desde el Epoch Unix, lo que da como resultado una nueva medida de tiempo usada por sistemas operativos como Unix/Linux. El tiempo en esos sistemas operativos se mide en segundos desde el 1 de enero de 1970, a las cero horas. Se decidió emplear el tiempo Epoch para resolver los conflictos que ocasionan los cambios de año o de mes, o los años bisiestos. Se evita de esta forma realizar un exhaustivo análisis temporal para buscar los ficheros/directorios que tienen que ser leídos (el que corresponde con la hora del terremoto, la hora anterior y la hora siguiente).

de abarcar un intervalo temporal (ventana) donde podrá visualizarse tanto el nivel de ruido anterior a las primeras llegadas, como el final del registro del terremoto hasta su nivel de ruido posterior (Figura 4.13).

7. Dentro de SAC nuevamente y tal y como se explicará en los apartados 4.3.2.2. y 4.3.2.3., se extrae el segmento, se corrige de respuesta instrumental la señal digital y se filtra la señal, empleando un filtro diferente según se trate de sismos próximos o lejanos.
8. En último lugar se diseña y personaliza la imagen de salida mediante parámetros de SAC.

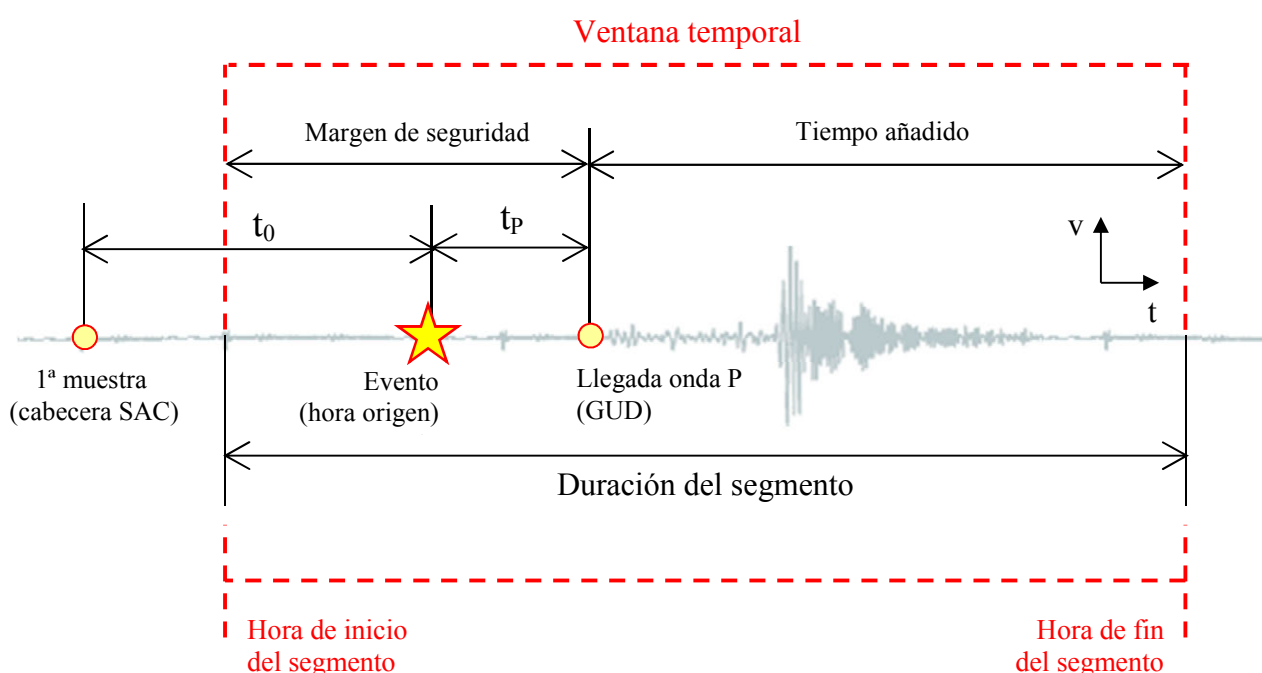


Figura 4.13: Ilustración que muestra el proceso seguido para definir la ventana temporal que abarca el segmento, mediante el programa “segmentar” en SAC.

4.3.2.1. Cálculo de la hora de inicio del segmento

En primer lugar, para poder definir el rango temporal que abarca la segmentación es necesario calcular la hora de inicio del segmento. Tal y como refleja la figura 4.13, a la hora de la 1ª muestra hay que sumarle el tiempo transcurrido en segundos hasta la hora origen del evento (t_0). A continuación, hay que sumar el tiempo de recorrido de la onda P (t_p) para así determinar la hora de llegada de la onda P a la estación GUD. Finalmente, para calcular la hora de inicio del segmento hay que restar

un margen temporal de seguridad, el cual se ha decidido fijar en 60 segundos en el caso de terremotos próximos y en 180 segundos en el caso de telesismos, tras comprobar que es tiempo suficiente como para abarcar el preevento y el nivel de ruido sísmico anterior. Estos cálculos se resumen mediante la siguiente expresión:

$$\text{Hora inicio del segmento} = \text{Hora 1ª muestra} + t_0 + t_p - \text{Margen de seguridad}$$

Para obtener la hora final del segmento y poder así definir la ventana temporal que abarca la segmentación, aplicaremos la siguiente expresión:

$$\text{Hora fin del segmento} = \text{Hora 1ª muestra} + t_0 + t_p + \text{Tiempo añadido}$$

Este tiempo añadido es de 360 segundos tanto para sismos próximos como lejanos, de forma que la duración del segmento queda fijada en 420 segundos para los sismos próximos y en 540 segundos para los telesismos.

Para calcular t_p ha sido necesario hacer uso de tablas dromocrónicas. En nuestro caso se ha decidido consultar las tablas definidas por **Herrin (1968)** (Tabla 4.2), ya que en ellas están contempladas todas las primeras llegadas y se alcanzan distancias epicentrales sobre la superficie esférica terrestre de hasta 100 grados. Para facilitar la programación, no utilizaremos directamente los valores teóricos tabulados en las tablas de Herrin, se ha decidido hacer uso de una expresión matemática [XXV] que relacione ambos parámetros, los tiempos de llegada (t_p) en segundos y la distancia epicentral (Δ) en grados, ya que no pretendemos obtener este tiempo para analizar fases sísmicas sino calcular t_p con la suficiente precisión como para encajar la segmentación con un margen de seguridad. Para obtener esta expresión matemática [XXV] se ha efectuado un ajuste polinómico de grado 3 (Figura 4.14), obteniendo un coeficiente de correlación $R^2 = 0.9998$, muy próximo a la unidad.

$$t_p = 0.0004 \Delta^3 - 0.1022 \Delta^2 + 14.891 \Delta + 5.1809 \quad [XXV]$$

donde:

Δ = distancia epicentral expresada en grados.

t_p = tiempo de recorrido de la onda P.

Dist. Epicentral Δ (°)	Tiempo (s)	Dist. Epicentral Δ (°)	Tiempo (s)	Dist. Epicentral Δ (°)	Tiempo (s)	Dist. Epicentral Δ (°)	Tiempo (s)	Dist. Epicentral Δ (°)	Tiempo (s)
Pg 0.0	0.0000	5.0	75.9880	30.0	369.5086	55.0	572.2107	80.0	730.6349
0.1	1.8533	5.5	82.8312	30.5	373.9477	55.5	575.8137	80.5	733.3270
0.2	3.7065	6.0	89.6703	31.0	378.3751	56.0	579.3986	81.0	735.9998
0.3	5.5598	6.5	96.5049	31.5	382.7900	56.5	582.9653	81.5	738.6533
0.4	7.4130	7.0	103.3346	32.0	387.1923	57.0	586.5135	82.0	741.2871
0.5	9.2663	7.5	110.1591	32.5	391.5831	57.5	590.0430	82.5	743.9007
0.6	11.1195	8.0	116.9779	33.0	395.9621	58.0	593.5538	83.0	746.4926
0.7	12.8259	8.5	123.7908	33.5	400.3281	58.5	597.0462	83.5	749.0611
0.8	14.8259	9.0	130.5973	34.0	404.6807	59.0	600.5205	84.0	751.6058
0.9	16.6791	9.5	137.3970	34.5	409.0193	59.5	603.9770	84.5	754.1271
Pg 1.0	18.5323	10.0	144.1896	35.0	413.3435	60.0	607.4162	85.0	756.6260
1.1	20.3788	10.5	150.9747	35.5	417.6532	60.5	610.8385	85.5	759.1042
1.2	22.0222	11.0	157.7519	36.0	421.9479	61.0	614.2444	86.0	761.5636
1.3	23.6656	11.5	164.5209	36.5	426.2269	61.5	617.6343	86.5	764.0064
1.4	25.3090	12.0	171.2813	37.0	430.4894	62.0	621.0084	87.0	766.4338
1.5	26.9525	12.5	178.0326	37.5	434.7347	62.5	624.3668	87.5	768.8465
1.6	28.5958	13.0	184.7746	38.0	438.9626	63.0	627.7094	88.0	771.2455
1.7	30.2392	13.5	191.4964	38.5	443.1730	63.5	631.0356	88.5	773.6315
P* 1.8	31.8826	14.0	198.1926	39.0	447.3662	64.0	634.3452	89.0	776.0056
Pn 1.9	33.4908	14.5	204.8555	39.5	451.5425	64.5	637.6379	89.5	778.3687
2.0	34.8630	15.0	211.4756	40.0	455.7020	65.0	640.9137	90.0	780.7222
2.1	36.2351	15.5	218.0429	40.5	459.8449	65.5	644.1724	90.5	783.0673
2.2	37.6072	16.0	224.5485	41.0	463.9710	66.0	647.4142	91.0	785.4049
2.3	38.9792	16.5	230.9845	41.5	468.0802	66.5	650.6392	91.5	787.7356
2.4	40.3512	17.0	237.3414	42.0	472.1723	67.0	653.8477	92.0	790.0597
2.5	41.7231	17.5	243.6096	42.5	476.2473	67.5	657.0398	92.5	792.3774
2.6	43.0949	18.0	249.7793	43.0	480.3051	68.0	660.2151	93.0	794.6891
2.7	44.4666	18.5	255.8408	43.5	484.3454	68.5	663.3731	93.5	796.9953
2.8	45.8383	19.0	261.7872	44.0	488.3680	69.0	666.5134	94.0	799.2966
2.9	47.2098	19.5	267.6136	44.5	492.3728	69.5	669.6355	94.5	801.5937
3.0	48.5813	20.0	273.3185	45.0	496.3596	70.0	672.7383	95.0	803.8872
3.1	49.9527	20.5	278.9036	45.5	500.3285	70.5	675.8202	95.5	806.1777
3.2	51.3240	21.0	284.3693	46.0	504.2791	71.0	678.8805	96.0	808.4658
3.3	52.6952	21.5	289.7160	46.5	508.2111	71.5	681.9193	96.5	810.7518
3.4	54.0663	22.0	294.9501	47.0	512.1242	72.0	684.9366	97.0	813.0361
3.5	55.4373	22.5	300.0806	47.5	516.0178	72.5	687.9329	97.5	815.3192
3.6	56.8082	23.0	305.1134	48.0	519.8920	73.0	690.9092	98.0	817.6016
3.7	58.1789	23.5	310.0533	48.5	523.7469	73.5	693.8665	98.5	819.8838
3.8	59.5496	24.0	314.9070	49.0	527.5828	74.0	696.8054	99.0	822.1660
3.9	60.9202	24.5	319.6818	49.5	531.4001	74.5	699.7264	99.5	824.4481
4.0	62.2906	25.0	324.3869	50.0	535.1992	75.0	702.6299	100.0	826.7303
4.1	63.6609	25.5	329.0331	50.5	538.9802	75.5	705.5159		
4.2	65.0311	26.0	333.6295	51.0	542.7433	76.0	708.3843		
4.3	66.4012	26.5	338.7068	51.5	546.4887	76.5	711.2346		
4.4	67.7712	27.0	342.7068	52.0	550.2164	77.0	714.0661		
4.5	69.1410	27.5	347.2025	52.5	553.9266	77.5	716.8776		
4.6	70.5107	28.0	351.6796	53.0	557.6192	78.0	719.6690		
4.7	71.8802	28.5	356.1456	53.5	561.2941	78.5	722.4405		
4.8	73.2496	29.0	360.6048	54.0	564.9510	79.0	725.1920		
4.9	74.6188	29.5	365.0596	54.5	568.5899	79.5	727.9234		

Tabla 4.2. Datos de distancia epicentral (°) y tiempo de recorrido (segundos) de ondas P según **Herrin (1968)**.

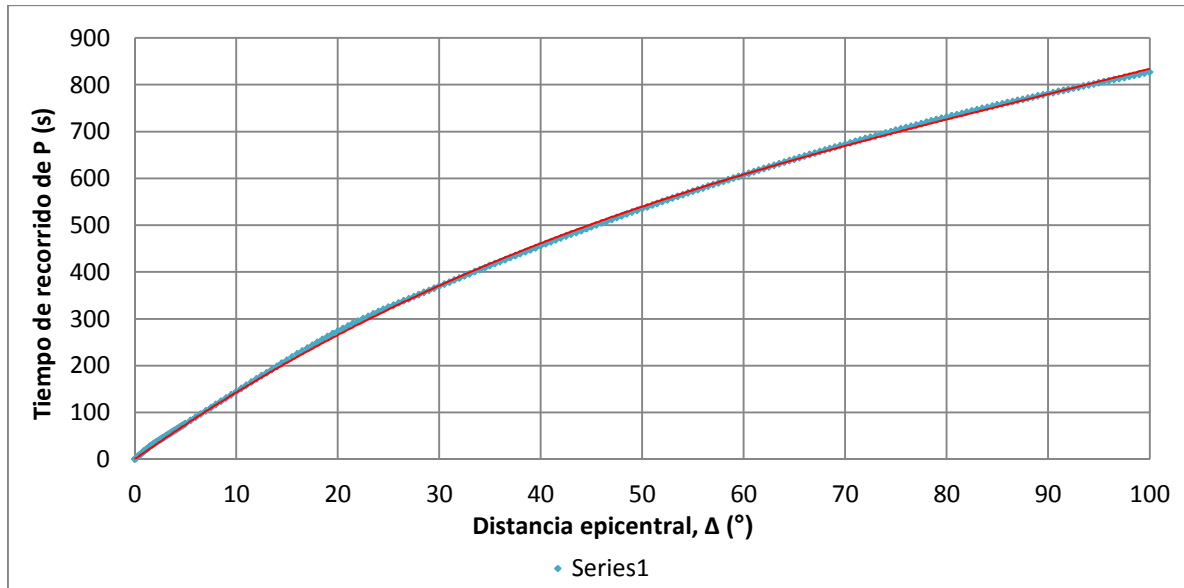
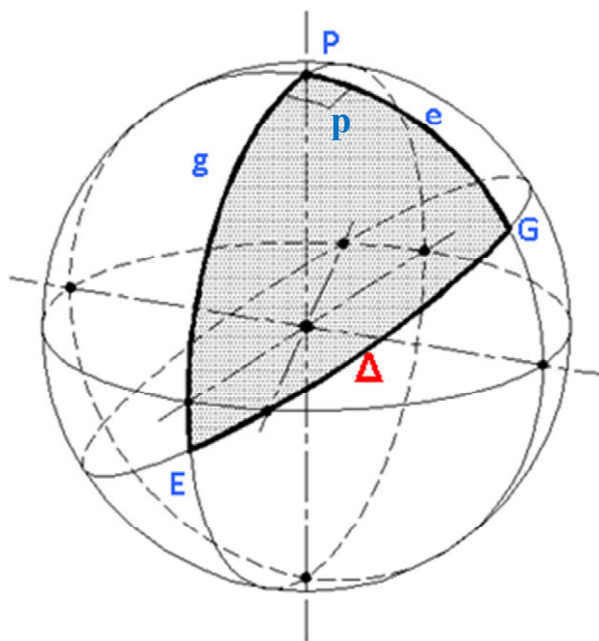


Figura 4.14: Ajuste polinómico de grado 3 entre los valores de distancia epicentral ($^{\circ}$) y tiempos de recorrido de ondas P (segundos) consultados en las tablas Herrin.

Para calcular automáticamente Δ , dato necesario para el cálculo posterior de t_P en la expresión [XXV], se ha optado por aproximar la forma de la Tierra a una esfera y resolver el triángulo esférico formado por los vértices P , E y G , y por los lados g , e y Δ , tal y como se representa en la figura 4.15.



- **P**: Polo Norte.
- **E**: posición geográfica del epicentro para cada terremoto.
- **G**: posición geográfica de la estación sísmica de registro GUD.
- **e**: arco de meridiano \widehat{GP} que representa la colatitud de G.
- **g**: arco de meridiano \widehat{EP} que representa la colatitud de E.
- **Δ** : arco de círculo máximo \widehat{EG} que representa la distancia epicentral sobre la superficie terrestre que se quiere calcular.
- **p**: ángulo que forman los lados g y e.

Figura 4.15: Aproximación esférica de la Tierra y representación del triángulo esférico para un caso general, formado por los vértices que representan la posición geográfica del Polo Norte, del epicentro del terremoto y de la estación sísmica de registro GUD.

Se conocen las coordenadas geográficas de G (estación de registro GUD) y las coordenadas geográficas de E (epicentro en cada terremoto), éstas últimas a partir de los campos longitud y latitud del fichero de la alerta sísmica recibida vía e-mail a la cuenta asociada al proyecto, ambos puntos separados por el arco Δ cuya longitud queremos obtener. Aplicamos directamente el Teorema del coseno [XXVI] haciendo uso del comando *gmtmath*, para poder realizar todas las operaciones matemáticas en las aplicaciones “segmentar_proximo” (Anexo 20) y “segmentar_lejano” (Anexo 19) encargadas de construir la segmentación.

$$\cos \Delta = \cos e \cos g + \sin e \sin g \cos p \quad [XXVI]$$

Por tanto, en el triángulo esférico EPG que se forma por cada terremoto registrado en la base de datos, se conocen los lados $g = \widehat{EP} = 90^\circ - \varphi_E$, $e = \widehat{GP} = 90^\circ - \varphi_G$ y el ángulo $p = \lambda_E - \lambda_G$, siendo φ_E y φ_G la latitud del epicentro y de la estación GUD respectivamente y λ_E y λ_G la longitud del epicentro y de la estación GUD respectivamente. La distancia esférica entre E y G queda determinada por el lado $\Delta = \widehat{EG}$ del triángulo esférico EPG .

Una vez calculado el dato de Δ en la expresión [XXVI], podemos calcular t_p en la expresión [XXV] para así determinar la *Hora inicio del segmento*.

4.3.2.2. Corrección instrumental

Con el fin de conocer la velocidad del movimiento del suelo es necesario corregir de respuesta instrumental la señal sísmica registrada. En el código de programación de las aplicaciones que construyen la segmentación se hace uso de los ficheros de la función de respuesta en velocidad del sensor, para de esta manera pasar de una forma de onda expresada en cuentas a otra expresada en velocidad (nm/s) en el dominio del tiempo, tal y como se explica a continuación:

Para que podamos hacer la corrección instrumental, necesitaremos la función de respuesta del conjunto de la instrumentación. La forma usual es en forma de polos y ceros, normalizada, junto con la constante de normalización a 1 Hz. Esta función de respuesta es la función que resulta de dividir la transformada de Fourier de la señal de entrada al sensor por la transformada de Fourier de la señal obtenida en la salida.

La función de respuesta en velocidad del sistema sensor-registro digital para un sistema de L ceros y N polos será, **Scherbaum (1996)**:

$$I(w) = \frac{G}{b} k \frac{\prod_{k=1}^L (i\bar{\omega} - c_n)}{\prod_{k=1}^N (i\bar{\omega} - p_n)} \quad [XXVII]$$

siendo cn los ceros, pn los polos instrumentales, k la constante de normalización, G la constante generadora del sismómetro en $V s m^{-1}$ y b la sensibilidad del sistema digital en nV/bit . De esta forma la función que obtenemos es la función compleja de respuesta en velocidad de todo el sistema sensor-registro digital con unidades de $bit s m^{-1}$, también llamada sensibilidad en velocidad.

El registro en velocidad corregido de instrumento $v(t)$, será:

$$v(t) = REAL \left(IFFT \frac{S(w)}{I(w)} \right) \quad [XXVIII]$$

siendo $IFFT$ la transformada inversa de Fourier y $S(W)$ el sismograma observado en el dominio de la frecuencia.

Los valores de la constante generadora del sismómetro y el número y valor de los polos y ceros para la estación sísmica GUD son proporcionados por el fabricante en un fichero para cada componente, y son los que se muestran en la tabla 4.3:

CONSTANT -2.00842e+11 ZEROS 3 0.0000e+00 0.0000e+00 0.0000e+00 0.0000e+00 9.4562e+02 0.0000e+00 POLES 4 -4.4422e-02 4.4422e-02 -4.4422e-02 -4.4422e-02 -5.0580e+02 1.9352e+02 -5.0580e+02 -1.9352e+02	CONSTANT -2.00218e+11 ZEROS 3 0.0000e+00 0.0000e+00 0.0000e+00 0.0000e+00 9.4562e+02 0.0000e+00 POLES 4 -4.4422e-02 4.4422e-02 -4.4422e-02 -4.4422e-02 -5.0580e+02 1.9352e+02 -5.0580e+02 -1.9352e+02	CONSTANT -1.96594e+11 ZEROS 3 0.0000e+00 0.0000e+00 0.0000e+00 0.0000e+00 9.4562e+02 0.0000e+00 POLES 4 -4.4422e-02 4.4422e-02 -4.4422e-02 -4.4422e-02 -5.0580e+02 1.9352e+02 -5.0580e+02 -1.9352e+
--	--	--

Tabla 4.3: Ficheros de la función de respuesta en velocidad de los 3 componentes del sensor de la estación GUD. De izquierda a derecha, las componentes E, N y Z: GUD_EVBB.zp, GUD_NVBB.zp y GUD_ZVBB.zp.

Este tipo de respuesta instrumental, llamada de banda ancha (BB), se caracteriza por presentar respuesta plana en un rango de frecuencias muy amplia, entre 0.01-50 Hz

y a diferencia de los antiguos sismómetros, permite obtener una señal proporcional al desplazamiento, velocidad o aceleración del suelo (Figura 4.16)

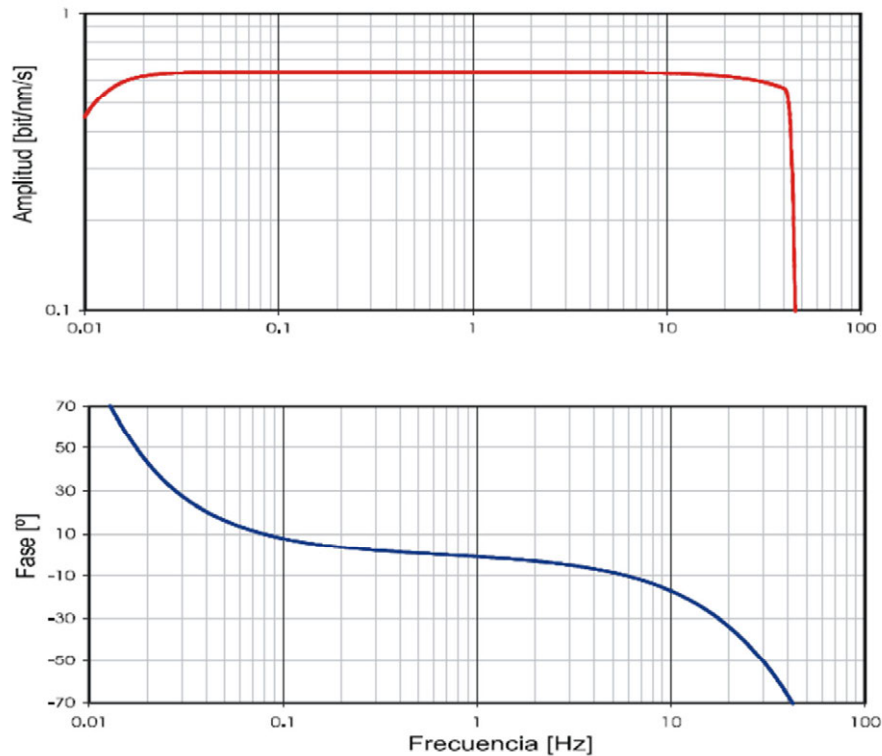


Figura 4.16: Curvas de respuesta nominal en amplitud y fase del sensor de la estación GUD.

Para corregir de respuesta instrumental el sismograma digital construido por medio de las aplicaciones “segmentar_proximo” y “segmentar_lejano”, es necesario aplicar a la forma de onda registrada los valores de los polos y ceros junto con el valor de la constante generadora del sismómetro. Estos valores se especifican en los tres ficheros de función de respuesta en velocidad del sensor de registro GUD, uno por cada componente de movimiento (componentes E-W, N-S y Z), los cuales se encuentran almacenados en el subdirectorio `/home/valvarez/VICENTE`. Para ello, en las aplicaciones desarrolladas “segmentar_proximo” y “segmentar_lejano”, se añaden las siguientes líneas de código para conseguir pasar de una forma de onda expresada en cuentas a otra expresada en velocidad (nm/s):

```
transfer from polezero s /home/valvarez/VICENTE/GUD_EVBB.zp
transfer from polezero s /home/valvarez/VICENTE/GUD_NVBB.zp
transfer from polezero s /home/valvarez/VICENTE/GUD_ZVBB.zp
```

4.3.2.3. Filtrado de la señal

El sensor de la estación sísmica de banda ancha GUD registra terremotos tanto próximos como lejanos, por lo que se desarrollaron dos versiones del programa “segmentar”, incluyendo en cada una de ellas un tipo de filtro paso banda, diferente en función de la frecuencia de la señal digital de salida que se quiere mostrar:

- El filtro programado en la aplicación “segmentar_proximo” se corresponde con un filtro de paso banda en el rango de frecuencias de 5-20 Hz, y cuya función es realzar las altas frecuencias registradas en los terremotos próximos de corto periodo, atenuando las bajas frecuencias. Para ello es necesario añadir la siguiente línea de código:

bp co 5 20 p 2 n 4

- El filtro programado en la aplicación “segmentar_lejano” se corresponde con un filtro de paso banda en el rango de frecuencias de 0.01-5 Hz, y cuya función es realzar las bajas frecuencias registradas en los terremotos lejanos ó telesismos de largo periodo, atenuando las altas frecuencias. Para ello es necesario añadir la siguiente línea de código:

bp co 0.01 5 p 2 n 4

4.3.3. Película animada

Para llevar a cabo la construcción y el diseño de la recreación en movimiento de la forma de onda correspondiente a la componente vertical del sismograma digital (Figura 4.17), contruido previamente tal y como se ha detallado en el subapartado 4.3.2, se han desarrollado las aplicaciones “peli_prox” (Anexo 16) y “peli_lej” (Anexo 15) mediante comandos de Unix, SAC y GMT.

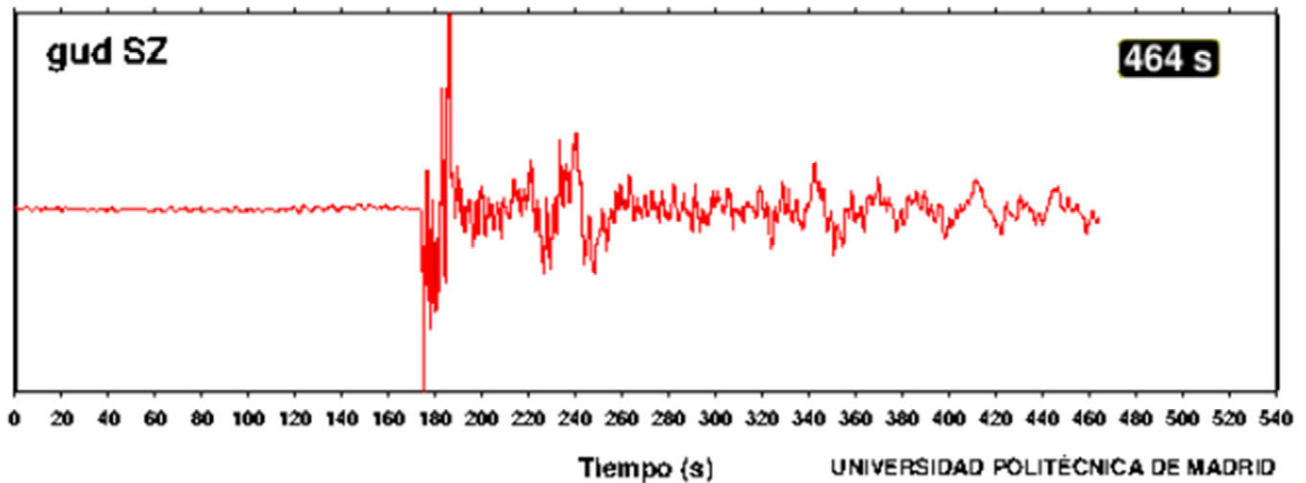


Figura 4.17: Imagen PostScript de la película animada que recrea la construcción de la forma de onda correspondiente a la componente vertical de movimiento confeccionada mediante la aplicación “peli_lej” en SAC, a partir del sismograma digital construido previamente en la segmentación. La forma de onda visualizada se corresponde con la construcción de la componente vertical del telesismo ign2012tfsr, de magnitud 7,2 Mw mB y profundidad 175 km en Colombia, registrado por la estación GUD el día 30 de Septiembre de 2012 a las 16:31:37 horas.

Los pasos seguidos para la construcción de la película animada de la forma de onda son los siguientes:

1. Dentro de SAC, se filtra la forma de onda registrada en el fichero temporal *tmp_1.z*, relativo a la componente vertical de movimiento y construido por medio de las aplicaciones de la segmentación y se interpola a 0.1 segundos.
2. Fuera de SAC, la forma de onda ya filtrada es dividida en pequeños intervalos gráficos de 2 segundos de duración, formando un nuevo fichero *.gif* por cada intervalo de datos.
3. Se programa un bucle para sumar de forma automática los datos de cada uno de estos ficheros *.gif*, y así poder reconstruir de forma gráfica la forma de onda registrada, simulando una sensación de “movimiento”.
4. Se construye un contador de tiempo en segundos, sincronizado automáticamente con la construcción de la forma de onda. El valor del contador aumenta a medida que se completa gráficamente la forma de onda, a razón de 2 segundos por cada fichero de datos que se integra.
5. En último lugar se diseña y personaliza la película animada y el contador sincronizado de tiempo de salida mediante parámetros de GMT.

4.4. INTERACCIÓN A TRAVÉS DEL CORREO ELECTRÓNICO

En Monitor Sísmico Interactivo se ha desarrollado e implementado un sistema de comunicación interactivo entre el usuario y la Unidad de Visualización de datos sísmicos a través del correo electrónico. Así pues, el usuario que desee visualizar en Monitor Sísmico Interactivo la información relativa a un terremoto que sea de su interés, realizará una petición mediante el envío de un mensaje de correo electrónico a la cuenta del proyecto *terremoto@topografia.upm.es* desde su teléfono móvil, pda u ordenador, escribiendo en el asunto del mensaje la palabra “VEOSISMO”, seguido de un espacio y el “EVID” del terremoto solicitado (identificador único de cada evento), y de forma automática e instantánea podrá visualizar las imágenes asociadas a dicho evento en cada zona del área IV de la Unidad de Visualización de datos (página WEB *Monitor Sísmico Interactivo – Terremoto solicitado por el usuario*).

Respecto a la forma en que esta tarea ha sido programada y desarrollada, se explicó en el apartado 4.1.1 cómo cada uno de los registros (eventos) que forman el listado de próximos y lejanos, al que previamente se han sumado las alertas de terremotos próximos y lejanos respectivamente, habían sido extraídos en ficheros temporales sobre los que se ejecutan las aplicaciones de dibujo y la película. El objetivo de esta tarea era formar una colección de imágenes en el directorio */DIRSAL* cuyo nombre comience con el identificador único (evid) extraído del primer campo de cada registro, que estén a disposición del usuario que podrá realizar una petición de información mediante el envío de un mensaje de correo. En este momento, a partir de la aplicación “saco” (Anexo 18) se mandará ejecutar la aplicación “veosismo” (Anexo 25), la cual se encargará de rastrear dicho directorio para buscar las imágenes asociadas al “evid” solicitado y copiarlas en el directorio */DIRDISPLAY*. Las imágenes que se encuentran en el directorio */DIRDISPLAY* son las que en todo momento se mostrarán en el Monitor Sísmico Interactivo, el cual se actualizará de forma automática e instantánea la entrada de nuevos mensajes de correo de solicitud de nuevos eventos o nuevos mensajes de correo que incluyan nuevos ficheros *LISTADO_IGN* o alertas de terremotos.

4.5. CONFECCIÓN Y DISEÑO DE LAS DISTINTAS ÁREAS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE VISUALIZACIÓN DE DATOS SÍSMICOS

Cada área que compone la Unidad de Visualización de datos sísmicos, en las cuales se distribuyen los distintos grupos de imágenes generadas, consiste en una página WEB independiente, confeccionada y diseñada a partir de una serie de aplicaciones desarrolladas mediante lenguaje HTML. Además, cada área o página WEB ha sido programada para actualizarse continuamente, ya que se refresca de forma automática con las nuevas imágenes generadas que se copian al directorio */DIRDISPLAY*.

HTML (HyperText Markup Language) es el lenguaje de marcado de hipertexto predominantemente utilizado para la elaboración de páginas WEB. Fue creado en 1986 por el físico nuclear Tim Berners-Lee a partir de dos herramientas preexistentes: el concepto de hipertexto, conocido también como *link* o ancla, el cual permite conectar dos elementos entre sí, y el SGML (Lenguaje Estándar de Marcación General), el cual sirve para colocar etiquetas o marcas en un texto que indique como debe verse. HTML se utiliza para describir y traducir la estructura y la información en forma de texto, así como para complementar el texto con objetos tales como imágenes. HTML no es propiamente un lenguaje de programación como C++, Visual Basic, etc., sino un sistema de «etiquetas», rodeadas por corchetes angulares (<,>). HTML no presenta ningún compilador, por lo tanto cualquier error de sintaxis que se presente no será detectado y se visualizará en la forma como éste lo entienda. En nuestro caso, el diseño de cada página WEB no se ha hecho utilizando ningún programa existente especializado para ello, como por ejemplo, el Microsoft Front Page o el Macromedia Dreamweaver, sino que el entorno de trabajo es simplemente un procesador de texto, ya que este sencillo programa cumple con un requisito mínimo que es la posibilidad de trabajar con las etiquetas con las que trabaja este lenguaje. De esta forma se abre el bloc de notas de Linux, se pica el código necesario (lenguaje HTML de etiquetas) y se guarda el archivo con la extensión .html. Estos documentos pueden ser mostrados por los visores o *browsers* de páginas WEB en Internet, como Microsoft Internet Explorer, Mozilla, Chrome, etc.

Las aplicaciones informáticas para la confección y diseño de las páginas WEB que han sido desarrolladas mediante lenguaje HTML son las siguientes:

- “Área_Tiempo_Real” (Anexo 5) para la creación de la página WEB que muestra la monitorización de la señal sísmica registrada por GUD en tiempo real (Figura 4.18), mediante los programas Scream y Drumplot.
- “Área_I” (Anexo 1) para la creación de la página WEB que muestra información de la sismicidad próxima en la península Ibérica en cuasi tiempo real, de magnitud $> 3,5$ grados y registrada en los 30 últimos días (Figura 4.19). Está compuesta por el mapa de sismos próximos y el listado revisado de los terremotos próximos localizados y representados sobre él.
- “Área_II” (Anexo 2) para la creación de la página WEB que muestra información de la sismicidad mundial en cuasi tiempo real, registrada en los 30 últimos días, de magnitud $> 5,5$ grados para telesismos superficiales ($h < 100$ km) y > 6 grados para telesismos profundos ($h > 100$ km) en Europa, y de magnitud > 6 grados para telesismos superficiales ($h < 100$ km) y $> 6,5$ grados para telesismos profundos ($h > 100$ km) en el resto del mundo (Figura 4.20), conforme al filtro en el orden de magnitudes por zona de ocurrencia y profundidad (h) que se establece en el IGN, tal y como se había explicado anteriormente. Está compuesta por el mapa de sismos lejanos y el listado revisado de los telesismos representados sobre él. Tanto en el Área_I como en el Área_II se ha programado la visualización automática de las fechas correspondientes al inicio y fin del intervalo de los 30 últimos días mediante la aplicación “fecha_listado” (Anexo 8).
- “Área_III” (Anexo 3) para la creación de la página WEB que muestra información de la última alerta de un sismo próximo o lejano en cuasi tiempo real (Figura 4.21), de acuerdo al mismo filtro en el orden de magnitudes aplicado en el Área_I y Área_II. Está compuesta por el mapa de sismicidad de detalle, el listado con la información del terremoto, el registro gráfico (sismograma digital de tres componentes) y la película animada.
- “Área_IV” (Anexo 4) para la creación de la página WEB que muestra información del terremoto solicitado por el usuario que interactúa con la Unidad de Visualización (Figura 4.22). Está compuesta por el mapa de sismicidad de detalle, el listado con la información del terremoto, el registro gráfico (sismograma digital de tres componentes) y la película animada de la componente vertical (z). En la parte superior derecha se visualiza de forma automática la dirección de correo desde donde el usuario realiza la petición.

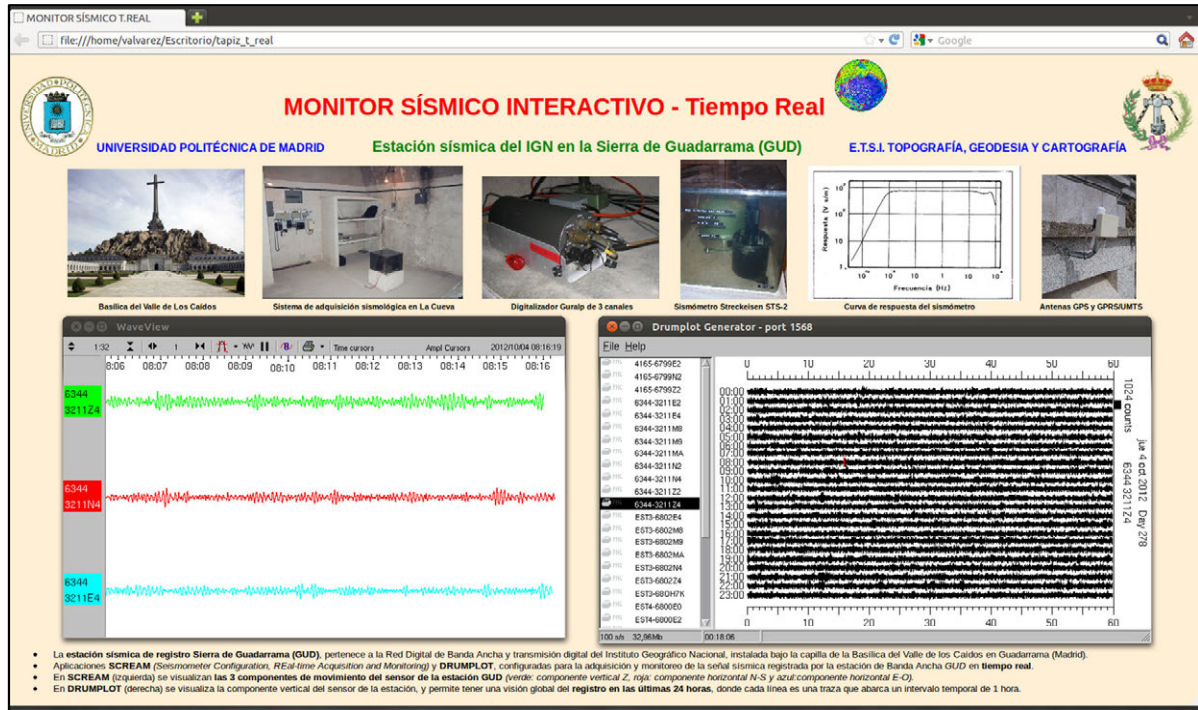


Figura 4.18: Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área dedicada al Tiempo Real, e incluye la monitorización de la señal sísmica registrada por la estación GUD mediante las aplicaciones Scream y Drumplot.



Figura 4.19: Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área I dedicada a la sismicidad próxima en cuasi tiempo real, e incluye el mapa de sismicidad de la península Ibérica y el listado de los terremotos próximos de magnitud por encima de los 3,5 grados que han sido localizados en los 30 últimos días representados sobre él.

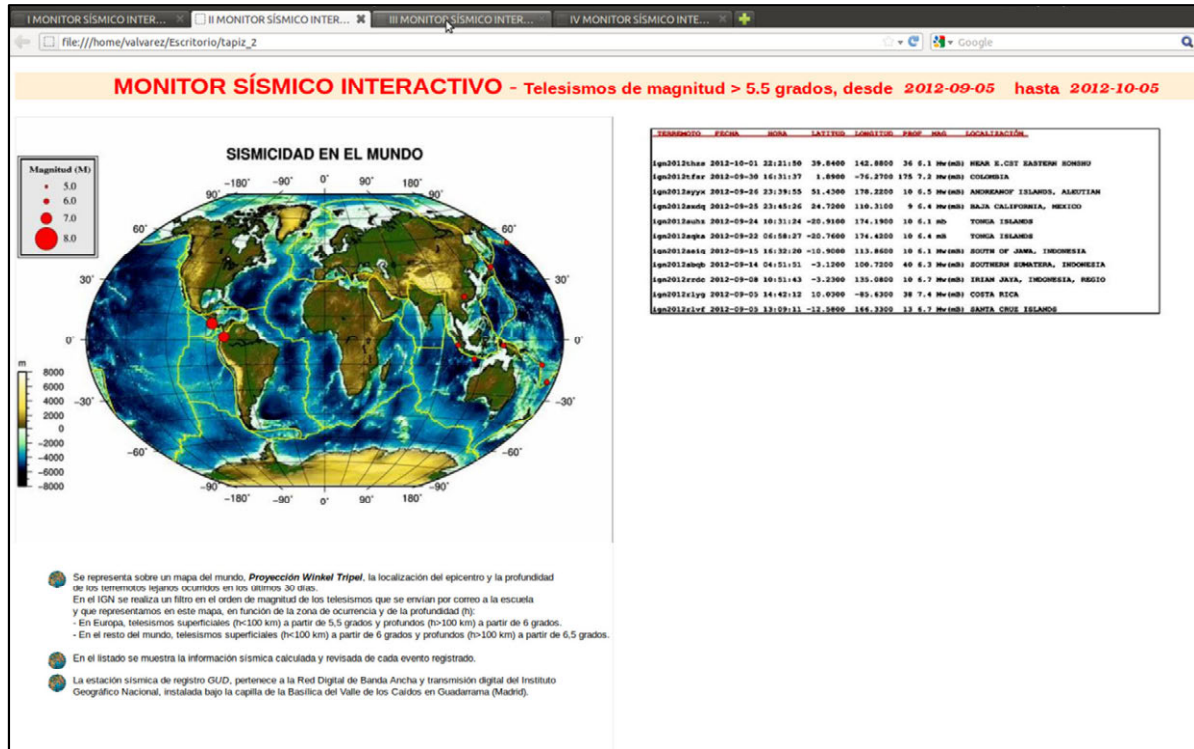


Figura 4.20: Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área II dedicada a los terremotos en cuasi tiempo real, e incluye el mapa de sismicidad mundial y el listado de los terremotos lejanos de magnitud por encima de los 5,5 grados que han sido localizados en los 30 últimos días representados sobre él.

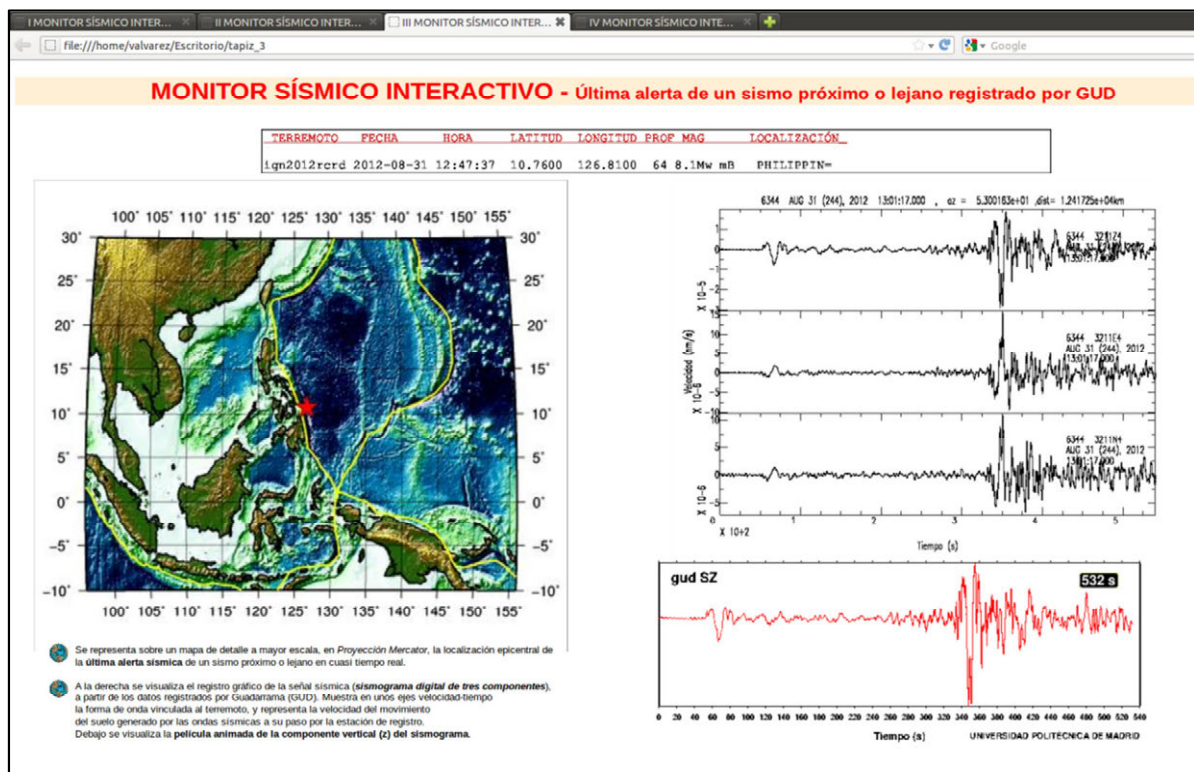


Figura 4.21: Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área III dedicada a la última alerta sísmica en cuasi tiempo real, tanto próxima como lejana, e incluye el mapa de sismicidad de detalle, el listado con la información del terremoto, el registro gráfico (sismograma digital de tres componentes) y la película animada de la componente vertical (z). Se representa la alerta del terremoto ign2012rcrd de magnitud 8,1 Mw MB, ocurrido el día 31 de Agosto de 2012 en la región de las Islas Filipinas.

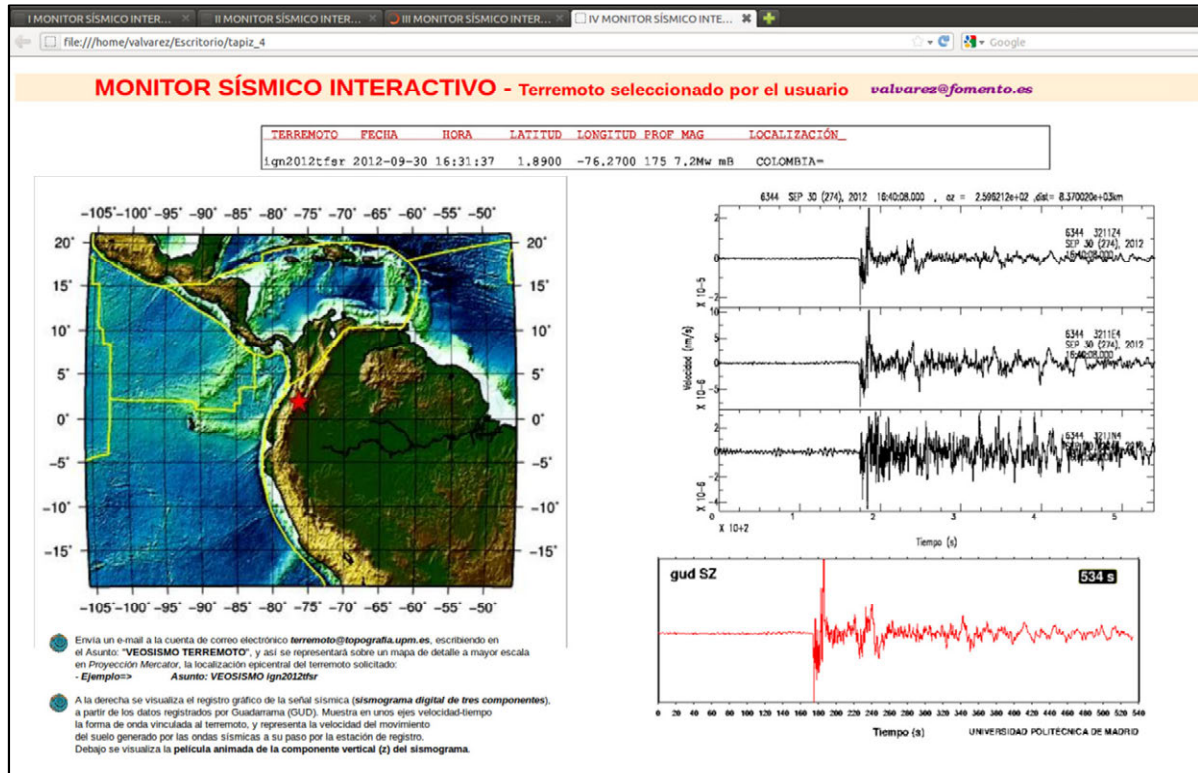


Figura 4.22: Imagen de la página WEB confeccionada con código HTML que representa el área IV dedicada al terremoto solicitado por el usuario que interactúa con la Unidad de Visualización, e incluye el mapa de sismicidad de detalle, el listado con la información del terremoto, el registro gráfico (sismograma digital de tres componentes) y la película animada de la componente vertical (z). Se representa el terremoto ign2012tfsr de magnitud 7,2 Mw mB, ocurrido el día 30 de Septiembre de 2012 a las 16:31:37 horas en Colombia.

A su vez, se ha desarrollado mediante programación Linux la aplicación “rotar” (Anexo 17), la cual permite alternar la visualización automática de cada uno de los cinco escritorios virtuales de Linux, durante un tiempo programado de quince segundos. Como cada una de las distintas áreas o páginas WEB se ha desplegado en un escritorio virtual distinto, ocupando todo el espacio del monitor, de esta forma se conseguirá mostrar en la Unidad de Visualización una fuente de información distinta de forma periódica (Figura 4.23).

Se ha previsto que la estación sísmica GUD pueda tener cortes puntuales en el registro y almacenamiento de datos sísmicos durante la ocurrencia de un terremoto representable en Monitor Sísmico Interactivo, debido por ejemplo a la existencia de tormentas eléctricas, o simplemente a una posible avería en la estación, lo cual puede provocar que no se formen los tres ficheros de datos en formato SAC para cada componente de movimiento de una hora de duración cada uno de ellos, y por consiguiente que no pueda formarse el segmento. En estos casos, con el fin de dar a

conocer al usuario del Monitor Sísmico Interactivo que no pueden mostrarse ni el segmento ni la película animada que recrea la construcción de su componente vertical, ha sido diseñada una imagen en forma de aspa roja (Figura 4.24) que advierte de la falta de datos. Esta imagen se superpondrá a la imagen del segmento, correspondiente a la anterior alerta sísmica de un sismo próximo o lejano en el área III de la Unidad de Visualización, o a las imágenes del segmento y de la película animada de la componente vertical, correspondientes al último terremoto que hubiera sido solicitado por un usuario en el área IV de la Unidad de Visualización.

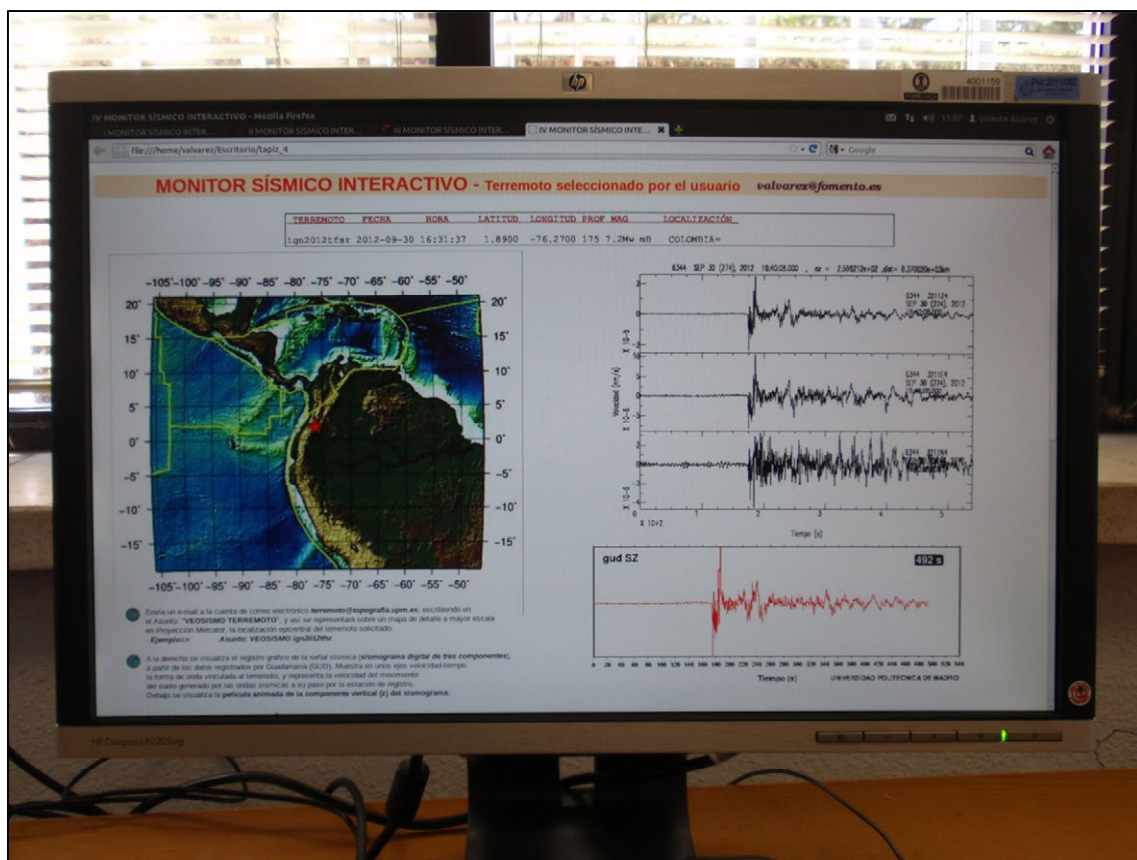


Figura 4.23: Fotografía que muestra en el monitor el Área III de la Unidad de Visualización de datos sísmicos, que se corresponde con la página WEB que informa de los datos de la última alerta sísmica de un terremoto próximo o lejano, como en este caso concreto.

Por otro lado, en los casos en que un terremoto registrado por GUD ocurra durante los primeros minutos del comienzo de una hora y se reciba una alerta de dicho terremoto en la cuenta de correo *terremoto@topografia.upm.es*, al poco tiempo transcurrido y dentro de la misma hora, correrá de forma automática la aplicación “saco” que lanzará la ejecución en primer lugar de las aplicaciones que construyen el

mapa de detalle y los datos del evento, y posteriormente la ejecución de las aplicaciones que construyen el segmento y la película animada. En este momento, cuando se vaya a hacer uso en la segmentación del fichero de datos en formato SAC posterior al fichero que contiene la hora origen para formar el fichero de la primera muestra, éste no existirá porque no ha sido almacenado aún. Para solventar este problema ha sido programado un retraso de dos horas en la ejecución de la aplicación que construye la segmentación ante la recepción de cualquier alerta de terremoto, tiempo suficiente para que se registren los datos sísmicos que forman el fichero que contiene la hora origen y el posterior. Así pues, ha sido diseñada una imagen (Figura 4.25) que advertirá al usuario que las imágenes del segmento y la película animada están en proceso de construcción, la cual se superpondrá a las imágenes del segmento y de la película, correspondientes a la anterior alerta sísmica de un terremoto en el área III Unidad de Visualización, durante el transcurso de las dos horas de retraso programado.

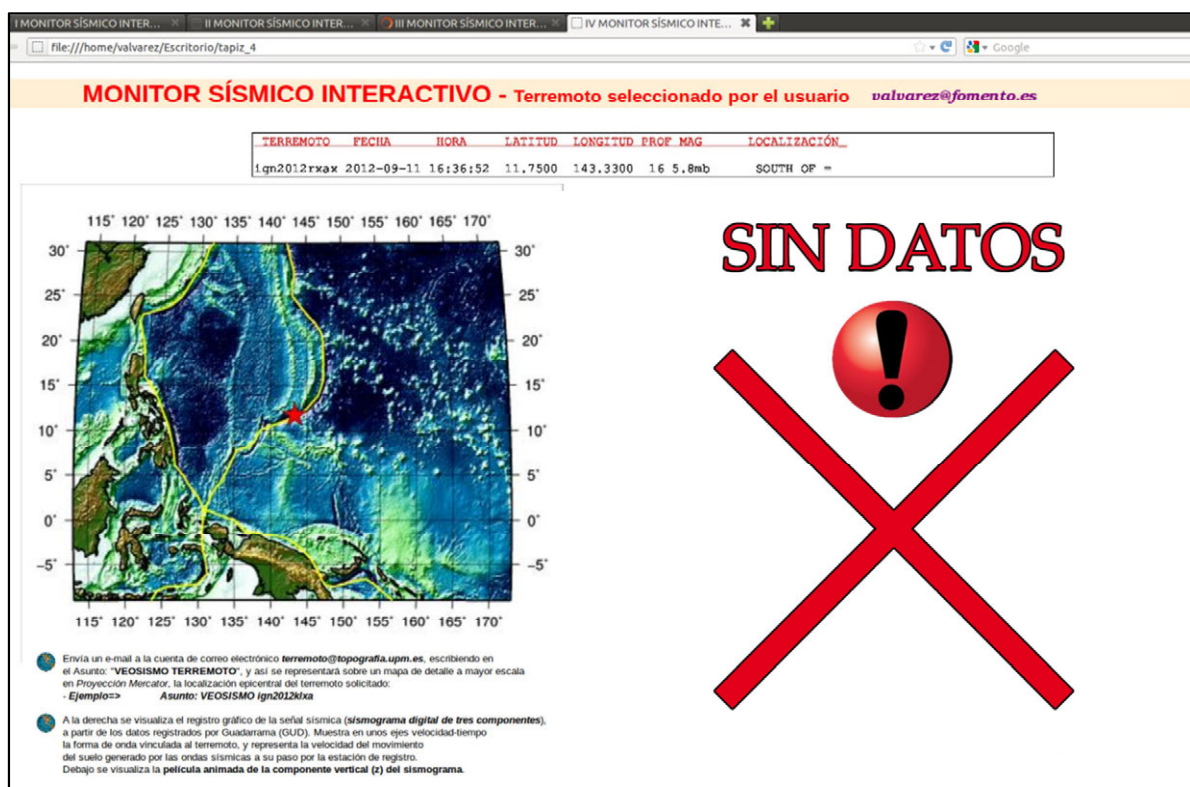


Figura 4.24: Imagen en forma de aspa roja con texto "sin datos" superpuesta a la imagen del anterior terremoto seleccionado por un usuario en el área IV de la Unidad de Visualización, la cual advierte que debido a una falta de datos sísmicos no es posible la construcción y visualización de las imágenes del segmento y de la película animada correspondientes al último terremoto seleccionado. En este caso, únicamente se muestran la localización epicentral en el mapa de detalle y la tira de registro con la información de los datos del terremoto ign2012rxax ocurrido el día 11 de Septiembre de 2012 a las 16:36:52 horas.



Figura 4.25: Imagen con texto “en construcción” superpuesta a las imágenes del segmento y de la película, correspondientes a la anterior alerta sísmica de un terremoto en el área III Unidad de Visualización, que advierte al usuario que las imágenes del segmento y la película animada de la última alerta sísmica del terremoto están en proceso de construcción. Se visualizará durante el transcurso de las dos horas de retraso programado antes de lanzar la ejecución de las aplicaciones que construyen el segmento y la película animada. En este caso, únicamente se muestran la localización epicentral en el mapa de detalle y la tira de registro con la información de los datos de la última alerta del terremoto ign2012rcrd de magnitud 8,1 Mw, ocurrido el día 31 de Agosto de 2012 a las 12:47:37 horas en las Islas Filipinas.

5. CONCLUSIONES

Entre las principales conclusiones que extraemos del presente Proyecto Final de Carrera, destacamos:

- Se ha desarrollado un sistema de monitorización e información de terremotos como herramienta de divulgación científica, destinado al público general y tomando como referencia algunas ideas de sistemas ya implementados en EE.UU. con gran éxito de aplicación.
- Monitor Sísmico Interactivo aporta información completa y datos de gran precisión, gracias a la instrumentación sísmica y sistemas de comunicaciones de última generación, y al manejo de software puntero en el ámbito de la sismología.
- El empleo de código de programación en el sistema operativo Linux para la implementación y desarrollo del Monitor Sísmico Interactivo, aporta gran robustez y estabilidad en el funcionamiento de todas las aplicaciones desarrolladas en este trabajo.
- Por primera vez se reciben y almacenan datos en tiempo real de una estación sísmica en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Cabe destacar que, a pesar de ser un sistema de información destinado al público general, se ha creado una base de datos para uso científico a disposición de los alumnos y profesores en la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.

5.1. FUTUROS DESARROLLOS Y LÍNEAS DE MEJORA

El desarrollo y puesta en marcha del Monitor Sísmico Interactivo es el origen de una serie de posibles futuros desarrollos que expresamos a continuación, y que de llevarse a cabo mejorarían sin duda el sistema interactivo de información de terremotos y la base de datos para uso científico:

- Disponer de un monitor de mayor tamaño que permita incluir más elementos y aplicaciones de información sísmica, como por ejemplo un nuevo mapa que reflejase la actividad sísmica de las Islas Canarias, o bien para ampliar y poder visualizar más cómodamente a cierta distancia los actuales.
- Incluir Monitor Sísmico Interactivo en la WEB de la E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía y desarrollar un enlace para acceder a la base de datos de uso científico desde la Plataforma Institucional de Telenseñanza Moodle de Geofísica.
- Instalar un sensor sísmico adicional frente a la Unidad de Visualización, y mediante este un nuevo sistema de comunicación interactiva el usuario podría crear su propio terremoto y visualizar el sismograma digital en la pantalla.

APÉNDICE A. SOFTWARE DESARROLLADO

En este apartado se muestra un listado ordenado alfabéticamente del software desarrollado en los distintos apartados del presente Proyecto Final de Carrera. Seguidamente se presenta el código de programación de cada una de estas aplicaciones/programas informáticos:

1. *Área_I*: Programa XHTML (lenguaje de etiquetas) para la creación del área o página WEB que muestra información de la sismicidad en la península Ibérica y zonas de actividad sísmica próximas en cuasi tiempo real. Está compuesta por el mapa de sismos próximos y el listado revisado de los terremotos próximos de magnitud mayor de 3,5 grados localizados en los 30 últimos días que se representan sobre él.
2. *Área_II*: Programa XHTML (lenguaje de etiquetas) para la creación del área o página WEB que muestra información de la sismicidad mundial en cuasi tiempo real. Está compuesta por el mapa de sismos próximos y el listado revisado de los telesismos de magnitud mayor de 5,5 grados localizados en los 30 últimos días que se representan sobre él.
3. *Área_III*: Programa XHTML (lenguaje de etiquetas) para la creación del área o página WEB que muestra información de la última alerta de un sismo próximo o lejano en cuasi tiempo real, y que está compuesta por el mapa de sismicidad de detalle, el listado con la información del terremoto, el registro gráfico (sismograma digital de tres componentes) y la película animada de la componente vertical (z).
4. *Área_IV*: Programa XHTML (lenguaje de etiquetas) para la creación del área o página WEB que muestra información del terremoto solicitado por el usuario que interactúa con la Unidad de Visualización, y que está compuesta por el mapa de sismicidad de detalle, el listado con la información del terremoto, el registro gráfico (sismograma digital de tres componentes) y la película animada de la componente vertical (z).

5. **Área_Tiempo_Real:** Programa XHTML (lenguaje de etiquetas) para la creación del área o página WEB que muestra la monitorización de la señal sísmica registrada por GUD en tiempo real, mediante los programas Scream y Drumplot.
6. **crea_tablas:** Programa UNIX para la creación de los archivos de texto temporales que contendrán los distintos listados de terremotos recibidos en la cuenta de correo asociada al proyecto.
7. **escuela_cron:** Programa UNIX que ejecuta la aplicación “saco” para la captura de nuevos mensajes recibidos en la cuenta de correo asociada al proyecto, de forma automática a intervalos regulares de 2 minutos de tiempo.
8. **fecha_listado:** Programa UNIX para la generación automática de las imágenes que capturan y muestran las fechas correspondientes al inicio y fin del intervalo de los 30 últimos días. Estas imágenes están presentes en las áreas I y II de la Unidad de Visualización de datos sísmicos.
9. **im_mapasis.gmt:** Programa GMT para la generación automática de un mapa de sismicidad próxima en proyección Mercator, con la imagen de la península Ibérica de fondo en formato raster, que ofrece un servicio de información de terremotos próximos y alertas sísmicas de sismos próximos de magnitud mayor de 3,5 grados, ocurridas en los últimos 30 días.
10. **im_mundosis.gmt:** Programa GMT para la generación automática de un mapa de sismicidad mundial en proyección Winkel Tripel, con la imagen del mundo de fondo en formato raster, que ofrece un servicio de información de terremotos lejanos y alertas sísmicas de sismos lejanos de magnitud mayor de 5,5 grados, ocurridas en los últimos 30 días.
11. **mapasis_detalle.gmt:** Programa GMT para la generación automática de un mapa de detalle en proyección Mercator, que provee la localización

del epicentro de la última alerta sísmica de un sismo próximo de magnitud mayor de 3,5 grados en cuasi tiempo real, después de ser calculada de forma automática, revisada y enviada desde el IGN a la cuenta de correo asociada al proyecto *terremoto@topografia.upm.es*.

12. ***mapasis.gmt***: Programa GMT para la generación automática de un mapa de sismicidad en la península Ibérica en proyección Mercator, que ofrece un servicio de información de terremotos próximos y alertas sísmicas de sismos próximos de magnitud mayor de 3,5 grados, ocurridas en los últimos 30 días.
13. ***mundosis_detalle.gmt***: Programa GMT para la generación automática de un mapa de detalle en proyección Winkel-Tripel que provee la localización del epicentro de la última alerta sísmica de un sismo lejano en cuasi tiempo real, después de ser calculada de forma automática, revisada y enviada desde el IGN a la cuenta de correo asociada al proyecto *terremoto@topografia.upm.es*.
14. ***mundosis.gmt***: Programa GMT para la generación automática de un mapa mundial que ofrece un servicio de información de terremotos lejanos y alertas sísmicas de sismos lejanos de magnitud mayor de 5,5 grados, ocurridas en los últimos 30 días.
15. ***pele_lej***: Programa SAC para la construcción y diseño de una película animada en formato .gif de la componente vertical del sismograma digital que ha sido previamente constuido con la aplicación *segmentar_lejano*, y que muestra en unos ejes velocidad-tiempo la forma de onda de la componente z vinculada a los telesismos registrados por la estación sísmica GUD.
16. ***pele_prox***: Programa SAC para la construcción y diseño de una película animada en formato .gif de la componente vertical del sismograma digital que ha sido previamente constuido con la aplicación *segmentar_proximo*, y que muestra en unos ejes velocidad-tiempo la

forma de onda de la componente z vinculada a los terremotos próximos registrados por la estación sísmica GUD.

17. **rotar**: Programa UNIX que permite alternar la visualización automática de cada uno de los cinco escritorios virtuales de Linux, durante un tiempo programado de quince segundos, en cada uno de los cuales se ha desplegado una de las cinco áreas o páginas WEB que ocupará todo el espacio del monitor. De esta forma se consigue mostrar de forma periódica en la Unidad de Visualización una fuente de información distinta.
18. **saco**: Programa UNIX que permite la gestión y tratamiento de los ficheros de datos sísmicos y mensajes de correo cuando se reciben en la bandeja de entrada de la cuenta de correo asociada al proyecto *terremoto@topografia.es*, y la ejecución de las aplicaciones de dibujo sobre dichos ficheros de datos, desarrolladas para la creación de los distintos grupos de imágenes que conforman la base de datos para uso científico y se muestran en la Unidad de Visualización de datos sísmicos.
19. **segmentar_lejano**: Programa SAC para la construcción y diseño de un sismograma digital de tres componentes perpendiculares que muestra, en unos ejes velocidad-tiempo, la forma de onda vinculada a los terremotos lejanos ó telesismos registrados por la estación sísmica GUD.
20. **segmentar_proximo**: Programa SAC para la construcción y diseño de un sismograma digital de tres componentes perpendiculares que muestra, en unos ejes velocidad-tiempo, la forma de onda vinculada a los terremotos próximos registrados por la estación sísmica GUD.
21. **tabla_alerta_lejano**: Programa GMT para generar automáticamente el listado con la última alerta sísmica de un terremoto lejano calculada, a partir de un archivo de texto creado mediante el programa *crea_tablas*.

22. ***tabla_alerta_proximo***: Programa GMT para generar automáticamente el listado con la última alerta sísmica de un terremoto próximo calculada, a partir de un archivo de texto creado mediante el programa *crea_tablas*.
23. ***tabla_listado_lejanos***: Programa GMT para generar automáticamente el listado de terremotos lejanos y alertas sísmicas de terremotos lejanos ocurridos en los 30 últimos días, a partir de un archivo de texto creado mediante el programa *crea_tablas*.
24. ***tabla_listado_proximos***: Programa GMT para generar automáticamente el listado de terremotos próximos y alertas sísmicas de terremotos próximos ocurridos en los 30 últimos días, a partir de un archivo de texto creado mediante el programa *crea_tablas*.
25. ***veosismo***: Programa UNIX para rastrear automáticamente cada mensaje de correo solicitado por un usuario y recibido en la cuenta de correo del proyecto *terremoto@topografia.upm.es*, en busca del evid correspondiente a dicho terremoto. A partir del evid se realiza una búsqueda en el directorio */DIRSAL* y una extracción de las imágenes asociadas al terremoto solicitado, las cuales habían sido generadas y almacenadas con anterioridad, y se muestran en el área IV de la Unidad de Visualización.

1. Área_I

```
#=====
# PROGRAMA XHTML PARA LA CREACIÓN DE LA PÁGINA WEB DE INFORMACIÓN DE LA
# SISMICIDAD EN LA PENÍNSULA IBÉRICA Y ZONAS DE ACTIVIDAD SÍSMICA
# PRÓXIMAS EN CUASI TIEMPO REAL.
# V. Álvarez (2012)
#=====

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Strict//EN"
"http://www.w3c.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd">
#=====
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml"
xml:lang="es" lang="es">
<head>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html;
    charset=utf-8" />
    <meta http-equiv="refresh" content="15" />
    <title> I MONITOR S&#205;SMICO INTERACTIVO </title>
</head>

<body>
    <div id="header">
        <style>
            h1{ color: red; font-family: Arial; font-size: 20pt;
            background-color: PapayaWhip; text-align: center; }
        </style>
    </div>
    <div id="header">
        <h1> MONITOR S&#205;SMICO INTERACTIVO - <font size=+2> Sismos
        pr&#243;ximos de magnitud > 3.5 grados,
        desde&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;hasta&#8195;&#8195;&#8195; </font></h1>
    </div>
</div>
```

```

 <style> img { float: right; }
</style>
</div>
<div>
 <style>
img { float: left; } </style>
</div>
<div>
<ul>
<li> Se representa sobre un mapa de la península Ibérica,
<b><cite>Proyección Mercator</cite></b>, la localización del
epicentro y la profundidad de los terremotos próximos de
magnitud igual o superior a 3,5 grados, ocurridos en los últimos 30
días.<br /><br /><br /><br /><br /><br /> </li>
<li> En el listado se muestra la información sísmica calculada
y revisada de cada evento registrado.<br /><br /><br /><br /> </li>
<li> La estación sísmica de registro <cite>GUD</cite>,
pertenece a la Red Digital de Banda Ancha y transmisión digital del
Instituto Geográfico Nacional, instalada bajo la capilla de
la Basílica del Valle de los Caídos en Guadarrama
(Madrid).</li>
</ul>
<style>
ul { list-style-type: none; }
ul li { font-family: Arial; font-size: 8.5pt; padding-left: 35px;
background: url(PFC/bullet_earth_new.gif) 0em 0em no-repeat;
margin-bottom: 0em; }
ul li { position: absolute; bottom: 20px; }
</style>
</div>
</body>
</html>

```

2. Área_II

```
#=====
# PROGRAMA HTML PARA LA CREACIÓN DE LA PÁGINA WEB DE INFORMACIÓN DE LA
# SISMICIDAD MUNDIAL EN CUASI TIEMPO REAL.
# V. Álvarez (2012)
#=====

<!DOCTYPE html PUBLIC "-// W3C//DTD XHTML 1.0 Strict//EN"
"http://www.w3c.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd">
#=====
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml"
xml:lang="es" lang="es">
<head>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html;
    charset=utf-8" />
    <meta http-equiv="refresh" content="15" />
    <title> II MONITOR S&#205;SMICO INTERACTIVO </title>
</head>

<body>
    <div id="header">
        <style>
            h1{ color: red; font-family: Arial; font-size: 20pt; background-
            color: PapayaWhip; text-align: center; }
        </style>
    </div>
    <div id="header">
        <h1> MONITOR S&#205;SMICO INTERACTIVO - <font size=+2> Telesismos de
        magnitud > 5.5 grados,
        desde&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;hasta&#8195;&#8195;&#8195;</font></h1>
    </div>
    <div>
         <style> img { float: right; } </style>
</div>
<div>

<style> img { float: left; } </style>
</div>
<div>
<ul>
<li> Se representa sobre un mapa del mundo, <b><cite>Proyecci&#243;n
Winkel Tripel</cite></b>, la localizaci&#243;n del epicentro y la
profundidad<br /> de los terremotos lejanos ocurridos en los
&#250;ltimos 30 d&#237;as.<br />En el IGN se realiza un filtro en el
orden de magnitud de los telesismos que se env&#237;a por correo a la
escuela<br />y que representamos en este mapa, en funci&#243;n de la
zona de ocurrencia y de la profundidad (h):<br />- En Europa, telesismos
superficiales (h<100 km) a partir de 5,5 grados y profundos (h>100 km) a
partir de 6 grados.<br />- En el resto del mundo, telesismos
superficiales (h<100 km) a partir de 6 grados y profundos (h>100 km) a
partir de 6,5 grados.<br /><br /><br /><br /><br /></li>
<li> En el listado se muestra la informaci&#243;n s&#237;smica calculada
y revisada de cada evento registrado.<br /><br /><br /><br /> </li>
<li> La estaci&#243;n s&#237;smica de registro <cite>GUD</cite>,
pertenece a la Red Digital de Banda Ancha y transmisi&#243;n digital del
Instituto<br /> Geogr&#225;fico Nacional, instalada bajo la capilla de
la Bas&#237;lica del Valle de los Ca&#237;dos en Guadarrama
(Madrid).</li>
</ul>
<style>
ul { list-style-type: none; }
ul li { font-family: Arial; font-size: 8.5pt; padding-left: 35px;
background: url(PFC/bullet_earth_new.gif) 0em 0em no-repeat;
margin-bottom: 0em; }
ul li { position: absolute; bottom: 35px; }
</style>
</div>
</body>
</html>

```

3. Área_III

```
#=====
# PROGRAMA HTML PARA LA CREACIÓN DE LA PÁGINA WEB DE INFORMACIÓN DE LA
# ÚLTIMA ALERTA SÍSMICA DE UN SISMO PRÓXIMO O LEJANO EN CUASI TIEMPO REAL.
# V. Álvarez (2012)
#=====

<!DOCTYPE html PUBLIC "-// W3C//DTD XHTML 1.0 Strict//EN"
"http://www.w3c.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" xml:lang="en" lang="en">
#=====
<head>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html;
    charset=UTF-8" />
    <meta http-equiv="refresh" content="15" />
    <title> III MONITOR S&#205;SMICO INTERACTIVO </title>
</head>

<body>
    <div id="header">
        <style>
            h1{ color: red; font-family: Arial; font-size: 20pt; background-
            color: PapayaWhip; text-align: center; }
        </style>
    </div>
    <div id="header">
        <h1> MONITOR S&#205;SMICO INTERACTIVO - <font size=+2> &#218;ltima
        alerta de un sismo pr&#243;ximo o lejano registrado por GUD</font>
        </h1>
    </div>
    <div style="position:relative"> 
    <div style="position:absolute; top:0; left:0;"> 
<div style="position:absolute; top:0; left:0;"> 
<div style="position:absolute; top:0; left:0;"> 
<div style="position:absolute; top:0; left:0;"> 
<div style="position:absolute; top:0; left:0;">
<div>
<ul>
<li> Se representa sobre un mapa de detalle a mayor escala, la
localizaci&#243;n epicentral de<br />la <b>&#250;ltima alerta
s&#237;smica</b> ocurrida en el mundo, y que ha sido registrada
por la estaci&#243;n.<br /><br /><br /><br /><br /><br /><br /></li>
<li> A la derecha del monitor se visualiza el registro gr&#225;fico de la
se&#241;al s&#237;smica<br /> (<b><cite>sismograma digital de tres
componentes</cite></b>). Muestra en unos ejes velocidad-tiempo<br />la
forma de onda vinculada al terremoto, y representa la velocidad del
movimiento<br/>del suelo generado por las ondas s&#237;smicas a su paso
por la estaci&#243;n de registro.<br /> Debajo se visualiza la
<b>pel&#237;cula animada del sismograma</b>.</li>
</ul>
<style>
ul { list-style-type: none; }
ul li { font-family: Arial; font-size: 8.5pt; padding-left: 35px;
background: url(PFC/bullet_earth_new.gif) 0em 0em no-repeat;
margin-bottom: 0em; }
ul li { position: absolute; bottom: 15px; }
</style>

```

```
</div>
</body>
</html>
```

4. Área_IV

```
#=====
# PROGRAMA HTML PARA LA CREACIÓN DE LA PÁGINA WEB DE INFORMACIÓN DEL
# TERREMOTO SOLICITADO POR EL USUARIO QUE INTERACTÚA CON LA UNIDAD DE
# VISUALIZACIÓN DE DATOS SÍSMICOS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01//EN"
"http://www.w3.org/TR/html4/strict.dtd">
#=====
<html xmlns=http://www.w3.org/1999/xhtml xml:lang="es" lang="es">
<head>
  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html;
  charset=utf-8" />
  <meta http-equiv="refresh" content="15" />
  <title> IV MONITOR S&#205;SMICO INTERACTIVO </title>
</head>

<body>
  <div id="header">
    <style>
      h1{ color: red; font-family: Arial; font-size: 20pt; background-
      color: PapayaWhip; text-align: center; }
    </style>
  </div>
  <div id="header">
    <h1> MONITOR S&#205;SMICO INTERACTIVO - <font size=+2> Terremoto
    seleccionado por el usuario </font>  </h1>
  </div>
```

```

<div style="position:relative"> 
<div style="position:absolute; top:0; left:0;"> 
<div style="position:absolute; top:0; left:0;"> 
<div style="position:absolute; top:0; left:0;">
src="/home/valvarez/PFC/DISPLAY/ ASPA_SIN_DATOS_VEO.png" width="75%" />
<div style="position:absolute; top:0; left:0;">
<div>
<ul>
<li> Env&#237;a un e-mail a la cuenta de correo electr&#243;nico
<b><cite>terremoto@topografia.upm.es</cite></b>,<br /> escribiendo en el
Asunto: "<b>VEOSISMO TERREMOTO</b>", y se representar&#225; sobre un
<br />mapa de detalle a mayor escala la localizaci&#243;n epicentral del
terremoto solicitado:<br /><cite>- Ejemplo: VEOSISMO ign2012klxa
</cite><br /><br /><br /><br /><br /><br /></li>
<li> A la derecha del monitor se visualiza el registro gr&#225;fico de
la se&#241;al s&#237;smica<br /> (<b><cite>sismograma digital de tres
componentes</cite></b>). Muestra en unos ejes velocidad-tiempo<br />la
forma de onda vinculada al terremoto, y representa la velocidad del
movimiento<br />del suelo generado por las ondas s&#237;smicas a su paso
por la estaci&#243;n de registro.<br /> Debajo se visualiza la
<b>pel&#237;cula animada del sismograma</b>.</li>
</ul>
<style>
ul { list-style-type: none; }
ul li { font-family: Arial; font-size: 8pt; padding-left: 35px;
background: url(PFC/bullet_earth_new.gif) 0em 0em
no-repeat; margin-bottom: 0em; }
ul li { position: absolute; bottom: 10px; }
</style>
</div>
</body>
</html>

```

5. Área_Tiempo_Real

```
#=====
# PROGRAMA HTML PARA LA CREACIÓN DE LA PÁGINA WEB DE INFORMACIÓN DE LA
# MONITORIZACIÓN DE LA SEÑAL SÍSMICA REGISTRADA POR LA ESTACIÓN SÍSMICA DE
# GUADARRAMA (GUD) EN TIEMPO REAL.
# V. Álvarez (2012)
#=====

<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd">
#=====
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml"
xml:lang="es" lang="es">
<head>
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html;
    charset=utf-8" />
    <meta http-equiv="refresh" content="15" />
    <title> MONITOR S&#205;SMICO INTERACTIVO T.REAL </title>
</head>
<body>
    <div id="header">
        <style>
            h1{ color: red; font-family: Arial; font-size: 25pt; background-color:
            PapayaWhip; }
            h2{ color: green; font-family: Arial; font-size: 16pt; background
            color: PapayaWhip; }
            h3{ color: black; font-family: Arial; font-size: 8pt; background-color:
            PapayaWhip; }
            body{ color: black; font-family: Arial; font-size: 20pt; background
            color: PapayaWhip; text-align: left; }
        </style>
    </div>
    <div id="header">
        <div>
            
        </div>
```

```

<h1> &#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;&#8195;MONITOR
S&#205;SMICO INTERACTIVO - Tiempo Real  </h1>
<h2><font size=+0.5 color=blue> UNIVERSIDAD POLIT&#201;CNICA DE MADRID
</font>&#8195;&#8195;&#8195;Estaci&#243;n s&#237;smica del IGN en la
Sierra de Guadarrama (GUD)&#8195;&#8195;&#8195;<font size=+0.5
color=blue> E.T.S.I. TOPOGRAF&#205;A, GEODESIA Y CARTOGRAF&#205;A
</font></h2>
<div>

</div>
<div>

</div>
<div>

</div>

</div>

</div>


</div>
<div style="text-align:center;float:left;margin: -310px 0px 0px 75px;">

```

<h3> Basílica del Valle de Los Caídos Sistema de adquisición sismológica en La Cueva Digitalizador Guralp de 3 canales Sismómetro Streckeisen STS-2 Curva de respuesta del sismómetro Antenas GPS y GPRS/UMTS

</h3>

</div>

- La **estación sísmica de registro Sierra de Guadarrama (GUD)**, pertenece a la Red Digital de Banda Ancha y transmisión digital del Instituto Geográfico Nacional, instalada bajo la capilla de la Basílica del Valle de los Caídos en Guadarrama (Madrid).
- Aplicaciones **SCREAM** (Seismometer Configuration, Real-time Acquisition and Monitoring) y **DRUMLOT**, configuradas para la adquisición y monitoreo de la señal sísmica registrada por la estación de Banda Ancha (GUD) en tiempo real.
- En **SCREAM** (izquierda) se visualizan las 3 componentes del sensor de la estación (verde: componente vertical Z, roja: componente horizontal E-O y azul: componente horizontal N-S).
- En **DRUMLOT** (derecha) se visualiza la componente vertical del sensor de la estación, y permite tener una visión global del registro en las últimas 24 horas, donde cada línea es una traza que abarca un intervalo temporal de 1 hora.

<style>

ul li { font-family: Arial; font-size: 9pt; padding-left: 15px; margin-bottom: 0em; }

ul li { position: absolute; text-align: left; bottom: 10px; }

```
</style>
</div>
</body>
</html>
```

6. crea_tablas

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA UNIX PARA LA CREACIÓN DE LOS ARCHIVOS TEXTO TEMPORALES QUE
# INCLUIRÁN LOS LISTADOS DE TERREMOTOS RECIBIDOS EN LA CUENTA DE CORREO
# ASOCIADA AL PROYECTO.
# V. Álvarez (2012)
#=====

set DIRSAL      = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIRTABLAS   = "/home/valvarez/VICENTE/TABLAS"
set 01  = "$DIRTABLAS/txt_tabla_listado_lejanos"
set 011 = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_listado_lejanos"
set 02  = "$DIRTABLAS/txt_tabla_listado_proximos"
set 021 = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_listado_proximos"
set 03  = "$DIRTABLAS/txt_tabla_alerta_lejano"
set 031 = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_alerta_lejano"
set 04  = "$DIRTABLAS/txt_tabla_alerta_proximo"
set 041 = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_alerta_proximo"
set 05  = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_veo_prox"
set 051 = "$DIRTABLAS/tmp1_tabla_veo_prox"
set 06  = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_veo_lej"
set 061 = "$DIRTABLAS/tmp1_tabla_veo_lej"
#=====
# Si existe listado entonces se corta para definir el ancho, caracteres en
# blanco se sustituyen por espacios, # se añade fila en blanco antes de la
# 1ª fila y después de cada fila, se añade información de párrafo y
# cabecera.
if ( -e $DIRSAL/listado_lejanos ) then
    more $DIRSAL/listado_lejanos | cut -c1-94 $DIRSAL/listado_lejanos > $01
    cat  $01 | sed 's/ /@\\040/g' $01 | sed -e '1 s|^|\\n|' > $011
    echo "> 0 25 8 0 8 LT 17p 7i 1" > $01
```

```
    echo
"@_@;255/0/0;@\040TERREMOTO@\040@\040@\040FECHA@\040@\040@\040@\040@\040
HORA@\040@\040@\040@\040@\040@\040LATITUD@\040@\040LONGITUD@\040PROF@\040@\04
0MAG@\040@\040LOCALIZACI\323N_@;;@_" >> $01
    cat $011 >> $01
endif
#=====
if ( -e $DIRSAL/listado_proximos ) then
    more $DIRSAL/listado_proximos | cut -c1-94 $DIRSAL/listado_proximos > $02
    cat $02 | sed 's/ /\040/g' $02 > $021
    echo "> 0 25 8 0 8 LT 17p 7i 1" > $02
    echo
"@_@;255/0/0;@\040TERREMOTO@\040@\040@\040FECHA@\040@\040@\040@\040HORA@\040@
\040@\040@\040LATITUD@\040@\040LONGITUD@\040PROF@\040MAG@\040@\040@\040@
\040@\040LOCALIZACI\323N_@;;@_" >> $02
    cat $021 >> $02
endif
#=====
if ( -e $DIRSAL/alerta_lejano ) then
    more $DIRSAL/alerta_lejano | cut -c1-94 $DIRSAL/alerta_lejano > $03
    cat $03 | sed 's/ /\040/g' $03 > $031
    echo "> 0 25 8 0 8 LT 17p 7i 1" > $03
    echo
"@_@;255/0/0;@\040TERREMOTO@\040@\040FECHA@\040@\040@\040@\040HORA@\040@\040@
\040@\040@\040LATITUD@\040@\040LONGITUD@\040PROF@\040MAG@\040@\040@\040@
\040@\040LOCALIZACI\323N_@;;@_" >> $03
    cat $031 >> $03
endif
#=====
if ( -e $DIRSAL/alerta_proximo ) then
    more $DIRSAL/alerta_proximo | cut -c1-94 $DIRSAL/alerta_proximo > $04
    cat $04 | sed 's/ /\040/g' $04 > $041
    echo "> 0 25 8 0 8 LT 17p 7i 1" > $04
    echo
"@_@;255/0/0;@\040TERREMOTO@\040@\040FECHA@\040@\040@\040@\040HORA@\040@\040@
\040@\040@\040LATITUD@\040@\040LONGITUD@\040PROF@\040MAG@\040@\040@\040@
\040@\040LOCALIZACI\323N_@;;@_" >> $04
    cat $041 >> $04
endif
#=====
```

```

if ( -e $DIRSAL/fichero_temporal_prox ) then
    more $DIRSAL/fichero_temporal_prox | cut -c1-94
$DIRSAL/fichero_temporal_prox > $05
    cat $05 | sed 's/ /@\040/g' $05 | sed -e '1 s|^|\n|' > $051
    echo "> 0 25 8 0 8 LT 17p 7i 1" > $05
    echo
"@_@;255/0/0;@\040TERREMOTO@\040@\040FECHA@\040@\040@\040@\040HORA@\040@\040@\040@\040LATITUD@\040@\040LONGITUD@\040PROF@\040MAG@\040@\040@\040@\040@\040LOCALIZACI\323N_@;;@_" >> $05
    cat $051 >> $05
endif
if ( -e $DIRSAL/fichero_temporal_lej ) then
    more $DIRSAL/fichero_temporal_lej | cut -c1-94
$DIRSAL/fichero_temporal_lej > $06
    cat $06 | sed 's/ /@\040/g' $06 | sed -e '1 s|^|\n|' > $061
    echo "> 0 25 8 0 8 LT 17p 7i 1" > $06
    echo
"@_@;255/0/0;@\040TERREMOTO@\040@\040FECHA@\040@\040@\040@\040HORA@\040@\040@\040@\040LATITUD@\040@\040LONGITUD@\040PROF@\040MAG@\040@\040@\040@\040@\040LOCALIZACI\323N_@;;@_" >> $06
    cat $061 >> $06
endif

```

7. escuela_cron

```

#=====
# PROGRAMA UNIX QUE EJECUTA LA APLICACIÓN “SACO” PARA LA CAPTURA DE NUEVOS
# MENSAJES RECIBIDOS EN LA CUENTA DE CORREO ASOCIADA AL PROYECTO, DE FORMA
# AUTOMÁTICA A INTERVALOS REGULARES DE 2 MINUTOS DE TIEMPO.
# V. Álvarez (2012)
#=====

# Cron para la captura de correo
source /home/valvarez/.bashrc
0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,50,52,5
4,56,58 * * * * /home/valvarez/PFC/bin/saco 1>>/home/valvarez/PFC/mensajes
2>>/home/valvarez/PFC/mensajes

```

8. fecha_listado

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA UNIX PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE LAS IMÁGENES QUE
# CAPTURAN Y MUESTRAN LAS FECHAS CORRESPONDIENTES AL INICIO Y FIN DEL
# INTERVALO DE LOS 30 ÚLTIMOS DÍAS, LAS CUALES ESTÁN PRESENTES EN LAS
# ÁREAS I Y II DE LA UNIDAD DE VISUALIZACIÓN DE DATOS SÍSMICOS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

set bin      = "/home/valvarez/PFC/bin"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"

date +%F > $bin/hoy
date --date='30 days ago' +%F > $bin/mes_anterior

convert -size 135x30 xc:PapayaWhip -font Bookman-DemiItalic -pointsize 22
-fill red -gravity center -draw "text 0,0 ``cat $bin/hoy``"
$DIR_DISPLAY/hoy.png
convert -size 135x30 xc:PapayaWhip -font Bookman-DemiItalic -pointsize 22
-fill red -gravity center -draw "text 0,0 ``cat $bin/mes_anterior``"
$DIR_DISPLAY/mes_anterior.png
```

9. im_mapasis.gmt

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE UN MAPA DE SISMICIDAD
# PRÓXIMA EN PROYECCIÓN MERCATOR, CON LA IMAGEN DE LA PENÍNSULA IBÉRICA EN
# FORMATO RÁSTER DE FONDO, QUE OFRECE UN SERVICIO DE INFORMACIÓN DE
# TERREMOTOS PRÓXIMOS Y ALERTAS SÍSMICAS DE TERREMOTOS PRÓXIMOS DE MAGNITUD
# > 3,5 GRADOS OCURRIDOS EN LOS ÚLTIMOS 30 DÍAS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

set fecha = `date '+20%y-%m-%d_%H:%M:%S`
set DIRSAL = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
```

```

set O = $fecha"_peninsula_iberica.ps"
set DIR = "/home/valvarez/PFC/bin"
set L = "-13/6/34/45"

# Se pinta el mapa
psimage $DIR/peninsula.ras -E72 -C-2.5/-2.5/BL -P -V -K > $0
psbasemap -R$L -JM14 -Lx1.5/7.25/40/100 -Tf-11/43.5/0.75c/2 -P
--HEADER_FONT_SIZE=8 --HEADER_FONT=1 -V -O -K >> $0
psbasemap -R$L -JM14 -Ba2Nef1g1/a2Wsf1g1:."SISMICIDAD EN LA PENINSULA
IBERICA":WeNs -P --HEADER_FONT_SIZE=16 --HEADER_FONT=1
--ANNOT_FONT_SIZE_PRIMARY=11 -V -O -K >> $0

# Se pintan las fronteras y límites provinciales
psxy $DIR/espa-lim.geo -JM14 -R$L -m -P -O -K -V -W1.2 >> $0
psxy $DIR/frontera.geo -JM14 -R$L -m -P -O -K -V -W3 >> $0

# Se pintan las bolitas que representan los epicentros
awk '$7>=2.0 && $7<3.0 && $6>=0 && $6<=33 {print $5,$4,0.0970}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=2.0 && $7<3.0 && $6>33 && $6<=190 {print $5,$4,0.0970}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/194/103 -W1/0 -Sc
>> $0
awk '$7>=2.0 && $7<3.0 && $6>190 {print $5,$4,0.0970}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/255/0 -W1/0 -Sc
>> $0
#=====
awk '$7>=3.0 && $7<4.0 && $6>=0 && $6<=33 {print $5,$4,0.1939}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=3.0 && $7<4.0 && $6>33 && $6<=190 {print $5,$4,0.1939}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/194/103 -W1/0 -Sc
>> $0
awk '$7>=3.0 && $7<4.0 && $6>190 {print $5,$4,0.1939}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/255/0 -W1/0 -Sc
>> $0
#=====
awk '$7>=4.0 && $7<5.0 && $6>=0 && $6<=33 {print $5,$4,0.3879}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -
Sc >> $0

```

```

awk '$7>=4.0 && $7<5.0 && $6>33 && $6<=190 {print $5,$4,0.3879}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/194/103 -W1/0 -Sc
>> $0

awk '$7>=4.0 && $7<5.0 && $6>190 {print $5,$4,0.3879}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/255/0 -W1/0 -Sc
>> $0

#=====
awk '$7>=5.0 && $6>=0 && $6<=33 {print $5,$4,0.7758}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=5.0 && $6>33 && $6<=190 {print $5,$4,0.7758}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/194/103 -W1/0 -Sc
>> $0
awk '$7>=5.0 && $6>190 {print $5,$4,0.7758}'
$DIRSAL/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/255/0 -W1/0 -Sc
>> $0

# Se pinta la leyenda
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -W2 -G255 -L << END >> $0
14.4 5.6
17.9 5.6
17.9 0
14.4 0
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -W5 -G230 -L << END >> $0
14.5 5.5
17.8 5.5
17.8 0.1
14.5 0.1
END
pstext -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -N << END >> $0
14.8 2.1 10 0 5 0 Profundidad (km)
15.6 1.4 10 0 4 0 h @%12%@\\243@%% 33
15.6 0.9 10 0 4 0 33 < h @%12%@\\243@%% 190
15.6 0.4 10 0 4 0 h > 190
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255/0/0 -O -K << END >> $0
15 1.5 0.4
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255/194/103 -O -K << END >> $0
15 1 0.4

```

```

END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255/255/0 -O -K << END >> $0
15 0.5 0.4
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255 -O -K << END >> $0
15.3 5 0.0969
15.3 4.5 0.1939
15.3 3.9 0.3878
15.3 3.2 0.7757
END
pstext -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -N << END >> $0
14.8 4.9 10 0 5 0 Magnitud (M@-b@-Lg)
15.9 4.4 10 0 4 0 3.0 - 3.9
15.9 3.8 10 0 4 0 4.0 - 4.9
15.9 3.1 10 0 4 0 @%12%@ \263@%% 5.0
END
#=====
gs -sDEVICE=jpeg -r1000 -dNOPAUSE
-sOutputFile="$DIRSAL/$fecha"_peninsula_iberica.jpg $0 < /dev/null
convert "$DIRSAL/$fecha"_peninsula_iberica.jpg -resize 700 -normalize
-crop 750x500+0+475 "$DIRSAL/$fecha"_peninsula_iberica.jpg

cp "$DIRSAL/$fecha"_peninsula_iberica.jpg DIR_DISPLAY/peninsula_iberica_1.jpg
rm "$fecha"_peninsula_iberica.ps

```

10.im_mundosis.gmt

```

#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE UN MAPA DE SISMICIDAD
# MUNDIAL EN PROYECCIÓN WINKEL TRIPEL, CON LA IMAGEN DEL MUNDO EN FORMATO
# RÁSTER DE FONDO, PARA OFRECER UN SERVICIO DE INFORMACIÓN DE TELESISMOS Y
# ALERTAS SÍSMICAS DE TERREMOTOS LEJANOS DE MAGNITUD > 5,5 GRADOS
# OCURRIDOS EN LOS ÚLTIMOS 30 DÍAS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

```

```
set fecha = `date '+20%y-%m-%d_%H:%M:%S'`
set DIRSAL = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set O = $fecha"_mundo.ps"
set DIR = "/home/valvarez/PFC/bin"

# Se pinta el mapa
psimage $DIR/mundo.ras -E72.3 -C-2.45/-2.45/BL -P -V -K > $O
psbasemap -Rd -JR0/6.6i -P -Bg30a90/g15a30:."SISMICIDAD EN EL MUNDO":WENS
--HEADER_FONT_SIZE=15 --ANNOT_FONT_SIZE_PRIMARY=10 -O -K >> $O

# Se añade la escala hipsométrica y batimétrica
psscale -D-2.4c/2c/4c/0.3c -C/usr/share/gmt/cpt/GMT_relief.cpt
-B2000f1000/:m: --ANNOT_FONT_SIZE=9 -P -V -O -K >> $O

# Se añaden los límites de placas tectónicas
psxy $DIR/lim_placas -m -Rd -JR0/6.6i -: -Wthick,255/255/0 -V -P -O -K >> $O

# Se pintan las bolitas que representan los epicentros
awk '$7>=5.0 && $7<6.0 {print $5,$4,0.0970}' $DIRSAL/listado_lejanos | psxy
-Rd -JR0/6.6i -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $O
awk '$7>=6.0 && $7<7.0 {print $5,$4,0.1939}' $DIRSAL/listado_lejanos | psxy
-Rd -JR0/6.6i -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $O
awk '$7>=7.0 && $7<8.0 {print $5,$4,0.3879}' $DIRSAL/listado_lejanos | psxy
-Rd -JR0/6.6i -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $O
awk '$7>=8.0 {print $5,$4,0.7758}' $DIRSAL/listado_lejanos | psxy
-Rd -JR0/6.6i -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $O

# Se pinta la leyenda
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -W2 -G255 -X-4 -Y5.5 -L << END >> $O
1.6 6.1
4.4 6.1
4.4 2.5
1.6 2.5
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -W5 -G230 -L << END >> $O
1.7 6.0
4.3 6.0
4.3 2.6
1.7 2.6
```

```

END
Psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255/0/0 -O -K << END >> $0
2.2 5 0.0970
2.2 4.5 0.1939
2.2 3.9 0.3879
2.2 3.2 0.7758
END
pstext -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -N << END >> $0
2.0 5.5 10 0 5 0 Magnitud (M)
2.8 4.9 10 0 4 0 5.0 - 5.9
2.8 4.4 10 0 4 0 6.0 - 6.9
2.8 3.8 10 0 4 0 7.0 - 7.9
2.8 3.1 10 0 4 0 @%12%\263@%% 8.0
END
#=====
gs -sDEVICE=jpeg -r1000 -dNOPAUSE -sOutputFile="$DIRSAL/$fecha"_mundo.jpg $0
< /dev/null
convert "$DIRSAL/$fecha"_mundo.jpg -resize 700 -normalize -crop 750x500+0+475
"$DIRSAL/$fecha"_mundo.jpg

cp "$DIRSAL/$fecha"_mundo.jpg $DIR_DISPLAY/mundo_3.jpg
rm "$fecha"_mundo.ps

```

11.mapasis_detalle.gmt

```

#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE UN MAPA DE DETALLE EN
# PROYECCIÓN MERCATOR, DONDE SE REPRESENTA LA LOCALIZACIÓN EPICENTRAL DE LA
# ÚLTIMA ALERTA DE UN SISMO PRÓXIMO DE MAGNITUD > 3,5 GRADOS EN CUASI TIEMPO
# REAL.
# V. Álvarez (2012)
#=====

set fecha = `date '+20%y-%m-%d_%H:%M:%S'`
set DIRSAL = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set DIR = "/home/valvarez/VICENTE"

```

```
set EVID = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{EVID = substr($1,1,7); print EVID}'`
set O = $DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_prox.ps"

set lat = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{lat = int($4); print lat}'`
set lon = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{lon = int($5); print lon}'`
@ lat_min = $lat - 2
@ lat_max = $lat + 2
@ lon_min = $lon - 2
@ lon_max = $lon + 2
set L = "$lon_min/$lon_max/$lat_min/$lat_max"

# Se extrae un grid de los ficheros 8 y 9 y lo pasa a formato GMT
#grdraster 9 -R-13/6/34/40 -I1m -Gkk.grd -V
#grdraster 8 -R-13/6/40/45 -I1m -Gkk.grd -V
#grdpaste W020N40.grd W020N90.grd -G$DIR/IBERIA.grd -V
grdcut $DIR/IBERIA.grd -G$DIR/kk.grd -R$L -fg -V

# Se crea el fichero de intensidades con iluminación
grdgradient $DIR/kk.grd -A0/270 -G$DIR/kk_int.grd -Ne -V

# Se pinta el mapa
grdimage -JM8 $DIR/kk.grd -R$L $DIR/kk.grd -I$DIR/kk_int.grd -E100
-C/usr/share/gmt/cpt/GMT_topo.cpt -P -V -K > $0
psbasemap -R$L -JM8 -B1g1 --HEADER_FONT_SIZE=15 --HEADER_FONT=1
--ANNOT_FONT_SIZE_PRIMARY=10 -P -V -O -K >> $0
pscoast -R$L -JM8 -Df -A5 -W4 -Slightblue -Ia/4/0/100/180 -P -V -O -K >> $0

# Se pintan las fronteras y límites provinciales
psxy /home/valvarez/PFC/bin/espas-lim.geo -JM8 -R$L -m -P -O -K -V -W2 >> $0
psxy /home/valvarez/PFC/bin/frontera.geo -JM8 -R$L -m -P -O -K -V -W4 >> $0

# Se pintan las bolitas que representan los epicentros
awk '$6>=0 && $6<=33 {print $5,$4,1.2}' $DIRSAL/alerta_proximo | psxy -R$L
-JM8 -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sa >> $0
awk '$6>33 && $6<=190 {print $5,$4,1.2}' $DIRSAL/alerta_proximo | psxy -R$L
-JM8 -V -O -K -G255/194/103 -W1/0 -Sa >> $0
awk '$6>190 {print $5,$4,1.2}' $DIRSAL/alerta_proximo | psxy -R$L
-JM8 -V -O -G255/255/0 -W1/0 -Sa >> $0
#=====
```

```
gs -sDEVICE=jpeg -r1000 -dNOPAUSE -
sOutputFile="$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_prox.jpg $0 < /dev/null
convert "$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_prox.jpg -resize 700 -normalize -crop
450x400+0+540 "$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_prox.jpg

cp "$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_prox.jpg $DIR_DISPLAY/mapa_alerta_5.jpg
rm "$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_prox.ps
```

12.mapasis.gmt

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE UN MAPA DE SISMICIDAD
# PRÓXIMA EN PROYECCIÓN MERCATOR QUE OFRECE UN SERVICIO DE INFORMACIÓN DE
# TERREMOTOS PRÓXIMOS Y ALERTAS SÍSMICAS DE TERREMOTOS PRÓXIMOS DE MAGNITUD
# > 3,5 GRADOS OCURRIDOS EN LOS ÚLTIMOS 30 DÍAS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

# Se definen variables:
set O = "mapasis.ps"
set DIR = "/home/escuela/VICENTE"
set L = "-13/6/34/45"

# Se extrae un grid de los ficheros 8 y 9 y lo pasa a formato GMT
#grdraster 9 -R-13/6/34/40 -I1m -Gkk.grd -V
#grdraster 8 -R-13/6/40/45 -I1m -Gkk.grd -V
#grdpaste W020N40.grd W020N90.grd -G$DIR/IBERIA.grd -V
grdcut $DIR/IBERIA.grd -G$DIR/kk.grd -R$L -fg -V

# Se crea el fichero de intensidades con iluminación
grdgradient $DIR/kk.grd -A0/270 -G$DIR/kk_int.grd -Ne -V

# Se pinta el mapa
grdimage -JM14 $DIR/kk.grd -I$DIR/kk_int.grd -E100 -
C/usr/share/gmt/cpt/GMT_topo.cpt -P -V -K > $O
pscoast -R$L -JM14 -Df -A250 -W3 -Slightblue -I1/8/0/100/180 -P -O -K >> $O
```

```
psbasemap -R$L -JM14 -Lx1.5/7.25/40/100 -Tf-11/43.5/0.75c/2 -P
--HEADER_FONT_SIZE=8 --HEADER_FONT=1 -V -O -K >> $0
psbasemap -R$L -JM14 -Ba2Nef1g1/a2Wsf1g1:."SISMICIDAD EN LA PENINSULA
IBERICA":WeNs -P --HEADER_FONT_SIZE=16 --HEADER_FONT=1
--ANNOT_FONT_SIZE_PRIMARY=11 -V -O -K >> $0

# Se pintan las fronteras y límites provinciales
psxy $DIR/espa-lim.geo -JM14 -R$L -m -P -O -K -V -W1.2 >> $0
psxy $DIR/frontera.geo -JM14 -R$L -m -P -O -K -V -W3 >> $0

# Se pintan las bolitas que representan los epicentros
awk '$7>=2.0 && $7<3.0 && $6>=0 && $6<=33 {print $5,$4,0.0970}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=2.0 && $7<3.0 && $6>33 && $6<=190 {print $5,$4,0.0970}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -O -K -G255/194/103 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=2.0 && $7<3.0 && $6>190 {print $5,$4,0.0970}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/255/0 -W1/0 -Sc >> $0
#=====
awk '$7>=3.0 && $7<4.0 && $6>=0 && $6<=33 {print $5,$4,0.1939}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=3.0 && $7<4.0 && $6>33 && $6<=190 {print $5,$4,0.1939}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -O -K -G255/194/103 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=3.0 && $7<4.0 && $6>190 {print $5,$4,0.1939}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/255/0 -W1/0 -Sc >> $0
#=====
awk '$7>=4.0 && $7<5.0 && $6>=0 && $6<=33 {print $5,$4,0.3879}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=4.0 && $7<5.0 && $6>33 && $6<=190 {print $5,$4,0.3879}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -O -K -G255/194/103 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=4.0 && $7<5.0 && $6>190 {print $5,$4,0.3879}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/255/0 -W1/0 -Sc >> $0
#=====
awk '$7>=5.0 && $6>=0 && $6<=33 {print $5,$4,0.7758}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=5.0 && $6>33 && $6<=190 {print $5,$4,0.7758}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -O -K -G255/194/103 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=5.0 && $6>190 {print $5,$4,0.7758}'
$DIR/listado_proximos | psxy -R$L -JM14 -V -O -K -G255/255/0 -W1/0 -Sc >> $0

# Se pinta la leyenda
```

```

psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -W2 -G255 -L << END >> $0
14.4 5.6
17.9 5.6
17.9 0
14.4 0
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -W5 -G230 -L << END >> $0
14.5 5.5
17.8 5.5
17.8 0.1
14.5 0.1
END
pstext -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -N << END >> $0
14.8 2.1 10 0 5 0 Profundidad (km)
15.6 1.4 10 0 4 0 h @%12%\243@%% 33
15.6 0.9 10 0 4 0 33 < h @%12%\243@%% 190
15.6 0.4 10 0 4 0 h > 190
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255/0/0 -O -K << END >> $0
15 1.5 0.4
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255/194/103 -O -K << END >> $0
15 1 0.4
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255/255/0 -O -K << END >> $0
15 0.5 0.4
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255 -O -K << END >> $0
15.3 5 0.0969
15.3 4.5 0.1939
15.3 3.9 0.3878
15.3 3.2 0.7757
END
pstext -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -N << END >> $0
14.8 4.9 10 0 5 0 Magnitud (M@-b@-Lg)
15.9 4.4 10 0 4 0 3.0 - 3.9
15.9 3.8 10 0 4 0 4.0 - 4.9
15.9 3.1 10 0 4 0 @%12%\263@%% 5.0
END
convert mapasis.ps mapasis.jpg

```

13.mundosis_detalle.gmt

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE UN MAPA DE DETALLE EN
# PROYECCIÓN WINKEL TRIPEL, DONDE SE REPRESENTA LA LOCALIZACIÓN EPICENTRAL DE
# LA ÚLTIMA ALERTA DE UN TELESISMO DE MAGNITUD > 5,5 GRADOS EN CUASI TIEMPO
# REAL.
# V. Álvarez (2012))
#=====

# Se definen variables:
set fecha = `date '+20%y-%m-%d_%H:%M:%S'`
set DIRSAL = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set DIR = "/home/valvarez/VICENTE"
set EVID = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{EVID = substr($1,1,11); print EVID}'`
set O = $DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_lej.ps"
set lat = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{lat = int($4); print lat}'`
set lon = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{lon = int($5); print lon}'`
@ lat_min = $lat - 20
@ lat_max = $lat + 20
@ lon_min = $lon - 30
@ lon_max = $lon + 30
set L = "$lon_min/$lon_max/$lat_min/$lat_max"
#grdraster 1 -Rd -I1m -Gmundo.grd

# Se crea el fichero de intensidades con iluminación
#grdgradient $DIR/mundo.grd -A0/270 -Ne -Gmundo_int.grd -V

# Se pinta el mapa
grdimage -JR$lon/4.3i -R$L $DIR/mundo.grd -I$DIR/mundo_int.grd -E100
-C/usr/share/gmt/cpt/GMT_relief.cpt -P -V -K > $O
psbasemap -R$L -JR$lon/4.3i -B5g5 --HEADER_FONT_SIZE=15 --HEADER_FONT=1
--ANNOT_FONT_SIZE_PRIMARY=10 -P -V -O -K >> $O
pscoast -R$L -JR$lon/4.3i -W3 -Dh -A1000 -I5/4/0/100/180 -P -V -O -K >> $O
```

```
# Se añaden los límites de placas tectónicas
psxy /home/valvarez/PFC/bin/lim_placas -m -: -R$L -JR$lon/4.3i -W6/255/255/0
-V -P -O -K >> $0

# Se pintan las bolitas que representan los epicentros
awk '{print $5,$4,0.65}' $DIRSAL/alerta_lejano | psxy -R$L -JR$lon/4.3i -V -O
-G255/0/0 -W1/0 -Sa >> $0

#=====
gs -sDEVICE=jpeg -r1000 -dNOPAUSE
-sOutputFile="$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_lej.jpg $0 < /dev/null
convert "$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_lej.jpg -resize 700 -normalize
-crop 450x400+40+560 "$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_lej.jpg

cp "$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_lej.jpg $DIR_DISPLAY/mapa_alerta_5.jpg
rm "$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_lej.ps
```

14.mundosis.gmt

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE UN MAPA DE SISMICIDAD
# PRÓXIMA EN PROYECCIÓN WINKEL TRIPEL QUE OFRECE UN SERVICIO DE INFORMACIÓN
# DE TELESISMOS Y ALERTAS SÍSMICAS DE TERREMOTOS LEJANOS DE MAGNITUD > 5,5
# GRADOS OCURRIDOS EN LOS ÚLTIMOS 30 DÍAS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

set O = "mundosis.ps"
set DIR = "/home/escuela/VICENTE"

#grdraster 1 -Rd -I1m -Gmundo.grd

# Se crea el fichero de intensidades con iluminación
#grdgradient $DIR/mundo.grd -A0/270 -Ne -Gmundo_int.grd -V

# Se pinta el mapa
grdimage -JR0/6.6i -Rd -P -V $DIR/mundo.grd -Imundo_int.grd -E100
-C/usr/share/gmt/cpt/GMT_relief.cpt -K > $0
```

```
psbasemap -Rd -JR0/6.6i -P -V -Bg30a90/g15a30:."SISMICIDAD EN EL MUNDO":WENS
--HEADER_FONT_SIZE=15 --ANNOT_FONT_SIZE_PRIMARY=10 -O -K >> $0
pscoast -Rd -JR0/6.6i -P -V -W2 -Dh -A10000 -O -K >> $0
```

Se añade la escala hipsométrica y batimétrica

```
psscale -D-2.4c/2c/4c/0.3c -C/usr/share/gmt/cpt/GMT_relief.cpt
-B2000f1000/:m: --ANNOT_FONT_SIZE=9 -P -V -O -K >> $0
```

Se añaden los límites de placas tectónicas

```
psxy $DIR/ridge.gmt -m -Rd -JR0/6.6i -G255/255/0 -V -P -O -K >> $0
psxy $DIR/transform.gmt -m -Rd -JR0/6.6i -G255/255/0 -V -P -O -K >> $0
psxy $DIR/trench.gmt -m -Rd -JR0/6.6i -G255/255/0 -V -P -O -K >> $0
```

Se pintan las bolitas que representan los epicentros

```
awk '$7>=5.0 && $7<6.0 {print $5,$4,0.0970}' $DIR/listado_lejanos | psxy -Rd
-JR0/6.6i -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=6.0 && $7<7.0 {print $5,$4,0.1939}' $DIR/listado_lejanos | psxy -Rd
-JR0/6.6i -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=7.0 && $7<8.0 {print $5,$4,0.3879}' $DIR/listado_lejanos | psxy -Rd
-JR0/6.6i -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
awk '$7>=8.0 {print $5,$4,0.7758}' $DIR/listado_lejanos | psxy -Rd
-JR0/6.6i -V -O -K -G255/0/0 -W1/0 -Sc >> $0
```

Se pinta la leyenda

```
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -W2 -G255 -X-4 -Y5.5 -L << END >> $0
1.6 6.1
4.4 6.1
4.4 2.5
1.6 2.5
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -K -W5 -G230 -L << END >> $0
1.7 6.0
4.3 6.0
4.3 2.6
1.7 2.6
END
psxy -R0/20/0/20 -Jx1 -Sc -V -W1/0 -G255/0/0 -O -K << END >> $0
2.2 5 0.0970
2.2 4.5 0.1939
2.2 3.9 0.3879
```

```

2.2    3.2 0.7758
END
pstext -R0/20/0/20 -Jx1 -V -O -N << END >> $0
2.0    5.5 10 0 5 0 Magnitud (M)
2.8    4.9 10 0 4 0 5.0 - 5.9
2.8    4.4 10 0 4 0 6.0 - 6.9
2.8    3.8 10 0 4 0 7.0 - 7.9
2.8    3.1 10 0 4 0 @%12%@\\263@%% 8.0
END
convert mundosis.ps mundosis.jpg

```

15.peli_lej

```

#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA SAC PARA LA CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE UNA RECREACIÓN ANIMADA DE LA
# COMPONENTE VERTICAL DEL SISMOGRAMA DIGITAL, CONSTRUÍDO PREVIAMENTE CON LA
# APLICACIÓN SEGMENTAR_LEJANO, Y QUE MUESTRA EN UNOS EJES VELOCIDAD-TIEMPO LA
# FORMA DE ONDA DE LA COMPONENTE Z VINCULADA A LOS TELESISMOS REGISTRADOS POR
# LA ESTACIÓN SÍSMICA GUD.
# V. Álvarez (2012)
#=====

mkdir /home/valvarez/PELICULA_LEJ/PELI$1
cp /home/valvarez/tmp_1.z /home/valvarez/PELICULA_LEJ/PELI$1/tmp_1.z
cd /home/valvarez/PELICULA_LEJ/PELI$1gmtset BASEMAP_TYPE plain
gmtset ANNOT_FONT_PRIMARY 1
gmtset ANNOT_FONT_SIZE_PRIMARY 9
gmtset LABEL_FONT 1
gmtset LABEL_FONT_SIZE 12
gmtset FRAME_PEN 6
gmtset TICK_LENGTH 0.1
gmtset TIME_LANGUAGE ES
gmtset HEADER_FONT_SIZE 14
gmtset HEADER_OFFSET -0.4c
sac << eof
read tmp_1.z
rmean

```

```
bp co 0.01 5 p 2 n 4
interpolate delta 0.1
rmean
write alpha gud.tmp
quit
eof
```

```
tail -n+31 gud.tmp | tr " " "\n" | grep . > gud.columna
set max = `minmax -C -Eh gud.columna | awk '{max = $1 ; print max}`
set min = `minmax -C -El gud.columna | awk '{min = $1 ; print min}`
set tmax = `wc gud.columna | awk '{tmax = $1 ; print tmax}`
echo $min $max $tmax
gmtmath -T1/$tmax/1 T 10 DIV = gud.tmp1
cut -f2 gud.tmp1 > gud.tmp2
paste -d" " gud.tmp2 gud.columna > gud.datos
set tmax = `minmax -C -Eh gud.datos | awk '{tmax = $1 ; print tmax}`
set L="-R0/"$tmax"/"$min"/"$max" -JX20/6"
set numero = 1001
set numerito = 2
while ($numero < 1271)
head -${numerito}0 gud.datos > gud.$numero
psbasemap $L -Ba20f20g20:"Tiempo (s)":/wSne -Y4 -K > gud.$numero.ps
echo 0.5 5.2 16 0 1 0 $2 SZ | pstext -R0/10/0/10 -Jx1 -N -K -O
>> gud.$numero.ps
psxy gud.$numero $L -W3/255/0/0 -O -K >> gud.$numero.ps
echo 19.0 5.5 16 0 1 RT $numerito s | pstext -R0/10/0/10 -Jx1 -N -G255
-W00/255/255/0 -K -O >> gud.$numero.ps
pstext -R0/10/0/10 -Jx1 -O -N << END >> gud.$numero.ps
20.0 -1.0 10 0 1 RT UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
END
convert -crop 300x600+255+180! gud.$numero.ps gud.$numero.gif
@ numero = $numero + 1
@ numerito = $numerito + 2
end
convert -delay 1 gud.?????.gif -loop 0 -rotate 90 $1.gud.peli.gif
```

16.peli_prox

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA SAC PARA LA CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE UNA RECREACIÓN ANIMADA DE LA
# COMPONENTE VERTICAL DEL SISMOGRAMA DIGITAL, CONSTRUÍDO PREVIAMENTE CON LA
# APLICACIÓN SEGMENTAR_PROXIMO, Y QUE MUESTRA EN UNOS EJES VELOCIDAD-TIEMPO
# LA FORMA DE ONDA DE LA COMPONENTE Z VINCULADA A LOS SISMOS PRÓXIMOS
# REGISTRADOS POR LA ESTACIÓN SÍSMICA GUD.
# V. Álvarez (2012)
#=====

mkdir /home/valvarez/PELICULA_PROX/PELI$1
cp /home/valvarez/tmp_p.z /home/valvarez/PELICULA_PROX/PELI$1/tmp_p.z
cd /home/valvarez/PELICULA_PROX/PELI$1

gmtset BASEMAP_TYPE plain
gmtset ANNOT_FONT_PRIMARY 1
gmtset ANNOT_FONT_SIZE_PRIMARY 9
gmtset LABEL_FONT 1
gmtset LABEL_FONT_SIZE 12
gmtset FRAME_PEN 6
gmtset TICK_LENGTH 0.1
gmtset TIME_LANGUAGE ES
gmtset HEADER_FONT_SIZE 14
gmtset HEADER_OFFSET -0.4c

sac << eof
read tmp_1.z
rmean
bp co 5 20 p 2 n 4
interpolate delta 0.1
rmean
write alpha gud.tmp
quit
eof

tail -n31 gud.tmp | tr " " "\n" | grep . > gud.columna
set max = `minmax -C -Eh gud.columna | awk '{max = $1 ; print max}'`
set min = `minmax -C -El gud.columna | awk '{min = $1 ; print min}'`
```

```
set tmax = `wc gud.columna | awk '{tmax = $1 ; print tmax}``
echo $min $max $tmax
gmtmath -T1/$tmax/1 T 10 DIV = gud.tmp1
cut -f2 gud.tmp1 > gud.tmp2
paste -d" " gud.tmp2 gud.columna > gud.datos
set tmax = `minmax -C -Eh gud.datos | awk '{tmax = $1 ; print tmax}``

set L="-R0/"$tmax"/"$min"/"$max" -JX20/6"
set numero = 1001
set numerito = 2
while ($numero < 1211)
head -${numerito}0 gud.datos > gud.$numero
psbasemap $L -Ba20f20g20:"Tiempo (s)":/wSne -Y4 -K > gud.$numero.ps
echo 0.5 5.2 16 0 1 0 $2 SZ | pstext -R0/10/0/10 -Jx1 -N -K -O
>> gud.$numero.ps
psxy gud.$numero $L -W3/255/0/0 -O -K >> gud.$numero.ps
echo 19.0 5.5 16 0 1 RT $numerito s | pstext -R0/10/0/10 -Jx1 -N -G255
-W00/255/255/0 -K -O >> gud.$numero.ps
pstext -R0/10/0/10 -Jx1 -O -N << END >> gud.$numero.ps
20.0 -1.0 10 0 1 RT UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
END
convert -crop 300x600+255+180! gud.$numero.ps gud.$numero.gif
@ numero = $numero + 1
@ numerito = $numerito + 2
end
convert -delay 1 gud.?????.gif -loop 0 -rotate 90 $1.gud.peli.gif
```

17. rotar

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA UNIX PARA ALTERNAR LA VISUALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE CADA UNO DE LOS
# 5 ESCRITORIOS VIRTUALES DE LINUX, PARA QUE OCUPEN TODO EL ESPACIO DEL
# MONITOR DURANTE UN TIEMPO PROGRAMADO DE 15 SEGUNDOS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

while true; do
```



```
wmctrl -o 0,0
sleep 15
wmctrl -o 1700,0
sleep 15
wmctrl -o 0,1100
sleep 15
wmctrl -o 1700,1100
sleep 15
wmctrl -o 0,2200
sleep 15
done
```

18.saco

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA UNIX QUE PERMITE LA GESTIÓN Y EL TRATAMIENTO DE LOS FICHEROS DE
# CORREO RECIBIDOS EN LA CUENTA DE CORREO ASOCIADA AL PROYECTO Y MANDA
# EJECUTAR LAS APLICACIONES DE DIBUJO DESARROLLADAS PARA LA GENERACIÓN DE
# TODAS LAS IMÁGENES QUE CONFORMAN LA BASE DE DATOS DE USO CIENTÍFICO Y QUE
# SE MUESTRAN EN LA UNIDAD DE VISUALIZACIÓN DE DATOS SÍSMICOS.
# V. Álvarez (2012)
#=====
# Programa que recoge el fichero de correo, lo analiza y extrae los
# ficheros de alerta_proximo, alerta_lejano, listado_proximos,
# listado_lejanos y veosismo.
# Manda ejecutar los programas de dibujo si los ficheros existen.

# Variables y ficheros de entrada
set fecha = `date '+20%y-%m-%d_%H:%M:%S'`
set DIR = "/home/valvarez/PFC"
set DIRbin = "/home/valvarez/PFC/bin"
set DIRSAL = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIRMAIL = "/home/valvarez/.local/share/evolution/mail/local/cur"
set DIRINBOX = "/home/valvarez/PFC/ENTRADAS"
set DIRTABLAS = "/home/valvarez/VICENTE/TABLAS"
```

```
# A partir de la carpeta de correo, se crea el fichero Inbox
# que contiene el texto de todos los correos de la bandeja de entrada
# (cada correo es un fichero indpte con la palabra "labfisica"
# incluida en su nombre)
cat $DIRMAIL/*labfisica* | sed -e '1 s|^|\n|' | sed G > $DIRINBOX/Inbox
rm $DIRMAIL/*labfisica*

# Copio carpeta de correo y la vacio
cp $DIRINBOX/Inbox $DIR/Inbox_copia
cat /dev/null > $DIRINBOX/Inbox
# Si la carpeta de correo esta vacia no hay mensajes
if ( -z $DIR/Inbox_copia ) then
echo $fecha No hay ningun mensaje de correo
else
# Cuando la carpeta de correo tiene algo, lo analizo. Busco los
# listados de proximos, lejanos y alertas y los copio en ficheros.
# Si los ficheros están vacíos, los borro.
sed -n -e '/PROXIMOS/,/LEJANOS/p' $DIR/Inbox_copia | sed '1d' | sed '$d'
> $DIR/listado_proximos
find $DIR/listado_proximos -empty -exec rm {} \;
#sed -n -e '/LEJANOS/,/^$/p' $DIR/Inbox_copia | sed '1d' | sed '$d'
> $DIR/listado_lejanos
sed -n -e '/LEJANOS/,/*$/p' $DIR/Inbox_copia | sed '1d' | sed '$d'
> $DIR/listado_lejanos
find $DIR/listado_lejanos -empty -exec rm {} \;
sed -n -e '/alerta-sismica-proximo/,/ghsdtiwoertsnhgd/p' $DIR/Inbox_copia |
sed -n -e '11p' > $DIR/alerta_proximo
find $DIR/alerta_proximo -empty -exec rm {} \;
sed -n -e '/alerta-sismica-lejano/,/ghsdtiwoertsnhgd/p' $DIR/Inbox_copia |
sed -n -e '11p' > $DIR/alerta_lejano
find $DIR/alerta_lejano -empty -exec rm {} \;

# Copio el listado_proximos si existe en un fichero de seguro
if ( -e $DIR/listado_proximos ) then
cp $DIR/listado_proximos $DIR/listado_proximos_seguro
echo $fecha Ha llegado listado de proximos
mv $DIR/listado_proximos $DIRSAL
# Si existen los ficheros en el directorio de salida ejecuto los
# programas de dibujo
if ( -e $DIRSAL/listado_proximos ) then
```

```
echo $fecha "ejecuto programa de dibujo de proximos"
$DIRbin/im_mapasis.gmt
$DIRTABLAS/crea_tablas_ok
$DIRTABLAS/tabla_listado_proximos
foreach evento ( "`cat $DIRSAL/listado_proximos`" )
    set evid = `echo $evento | awk '{print $1}'`
    # Ej: 1146647 2012/06/04 11:09:51 37.2633 -12.7598 0 4.4 mb
    # AZORES-CABO DE SAN VICENTE
echo $evento > $DIRSAL/fichero_temporal_prox
    $DIRbin/mapasis_detalle_veo.gmt
    $DIRTABLAS/crea_tablas_ok
    $DIRTABLAS/tabla_alerta_proximo_veo
    $DIRbin/segmentar_proximo_veo
end
endif
endif

# Copio el listado_lejanos si existe en un fichero de seguro
if ( -e $DIR/listado_lejanos ) then
    cp $DIR/listado_lejanos $DIR/listado_lejanos_seguro
    echo $fecha Ha llegado listado de lejanos
    mv $DIR/listado_lejanos $DIRSAL
    # Si existen los ficheros en el directorio de salida ejecuto los
    # programas de dibujo
    if ( -e $DIRSAL/listado_lejanos ) then
        echo $fecha "ejecuto programa de dibujo de lejanos"
        $DIRbin/im_mundosis.gmt
        $DIRTABLAS/crea_tablas_ok
        $DIRTABLAS/tabla_listado_lejanos
        foreach evento ( "`cat $DIRSAL/listado_lejanos`" )
            set evid = `echo $evento | awk '{print $1}'`
            # Ej: ign2012kerd 2012-05-24 22:47:47 73.1200 5.8400 10 6.1
            # Mw(mB) GREENLAND SEA
echo $evento > $DIRSAL/fichero_temporal_lej
            $DIRbin/mundosis_detalle_veo.gmt
            $DIRTABLAS/crea_tablas_ok
            $DIRTABLAS/tabla_alerta_lejano_veo
            $DIRbin/segmentar_lejano_veo
        end
    endif
endif
```

```
endif

# Si existe alerta_proximo le quito parentsis a la magnitud y añado a listado
if ( -e $DIR/alerta_proximo ) then
    cat $DIR/alerta_proximo | sed 's/(/ /g' > $DIR/tmp
    mv $DIR/tmp $DIR/alerta_proximo
    cat $DIR/alerta_proximo | sed 's/)/ /g' > $DIR/tmp
    mv $DIR/tmp $DIR/alerta_proximo
    cat $DIR/alerta_proximo $DIR/listado_proximos_seguro > $DIR/tmp
    mv $DIR/tmp $DIR/listado_proximos
    cp $DIR/listado_proximos $DIR/listado_proximos_seguro
endif

# Si existe alerta_lejano le quito parentesis a la magnitud y añado a listado
if ( -e $DIR/alerta_lejano ) then
    cat $DIR/alerta_lejano | sed 's/(/ /g' > $DIR/tmp
    mv $DIR/tmp $DIR/alerta_lejano
    cat $DIR/alerta_lejano | sed 's/)/ /g' > $DIR/tmp
    mv $DIR/tmp $DIR/alerta_lejano
    cat $DIR/alerta_lejano $DIR/listado_lejanos_seguro > $DIR/tmp
    mv $DIR/tmp $DIR/listado_lejanos
    cp $DIR/listado_lejanos $DIR/listado_lejanos_seguro
endif

# Saco del fichero de correo el comando veosismo
grep -i veosismo $DIR/Inbox_copia > $DIR/veosismo
# Si esta vacio veosismo lo borro
find $DIR/veosismo -empty -exec rm {} \;
# Si no existe ningun fichero pero ha llegado correo, el correo es extraño
if ( -z $DIR/listado_proximos ) then
    if ( -z $DIR/listado_lejanos ) then
        if ( -z $DIR/alerta_proximo ) then
            if ( -z $DIR/alerta_lejano ) then
                if ( -z $DIR/veosismo ) then
                    echo $fecha Ha llegado mensaje de correo extraño
                endif
            endif
        endif
    endif
endif
endif
```

```
# Si existe el fichero es que ha llegado y lo muevo al directorio de salida
if ( -e $DIR/alerta_proximo ) then
    echo $fecha Ha llegado alerta proximo
    mv $DIR/alerta_proximo $DIRSAL
endif

if ( -e $DIR/alerta_lejano ) then
    echo $fecha Ha llegado alerta lejano
    mv $DIR/alerta_lejano $DIRSAL
endif

if ( -e $DIR/veosismo ) then
    echo $fecha Ha llegado una peticion
    mv $DIR/veosismo $DIRSAL
endif

# Si existen los ficheros en el directorio de salida ejecuto los programas de
# dibujo
if ( -e $DIRSAL/alerta_proximo ) then
    echo $fecha "ejecuto programa de dibujo de alerta proximo"
    $DIRbin/mapasis_detalle.gmt
    $DIRTABLAS/crea_tablas
    $DIRTABLAS/tabla_alerta_proximo
    $DIRbin/segmentar_proximo
endif

if ( -e $DIRSAL/alerta_lejano ) then
    echo $fecha "ejecuto programa de dibujo de alerta lejano"
    $DIRbin/mundosis_detalle.gmt
    $DIRTABLAS/crea_tablas
    $DIRTABLAS/tabla_alerta_lejano
    $DIRbin/segmentar_lejano
endif

if ( -e $DIRSAL/veosismo ) then
    echo $fecha "ejecuto programa de enseña sismo"
    $DIRbin/veosismo
endif

rm $DIRSAL/alerta_proximo $DIRSAL/alerta_lejano $DIRSAL/listado_*
rm $DIRSAL/fichero_temporal_prox
rm $DIRSAL/fichero_temporal_lej
rm $DIRSAL/veosismo
endif
```

19.segmentar_lejano

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA SAC QUE PERMITE LA CONSTRUCCIÓN Y EL DISEÑO DE UN SISMOGRAMA
# DIGITAL DE 3 COMPONENTES DE MOVIMIENTO Y MUESTRA, EN UNOS EJES VELOCIDAD-
# TIEMPO, LA FORMA DE ONDA VINCULADA A LOS TELESISMOS REGISTRADOS POR LA
# ESTACIÓN SÍSMICA GUD.
# V. Álvarez (2012)
#=====

rm /home/valvarez/PFC/DISPLAY/ASPA_SIN_DATOS.png
# Retraso la construcción del segmento 2 horas para dar tiempo a que GUD
# registre y almacene el fichero de datos posterior. Pongo imagen
# "en_construccion" mientras tanto:
cp /home/valvarez/Escritorio/img_tapices/ASPA_EN_CONSTRUCCION.png
   /home/valvarez/PFC/DISPLAY/ASPA_EN_CONSTRUCCION.png
sleep 7200

# Para que quede definida la variable SACAUX al ejecutar el programa a través
# del cron desde /home/valvarez en vez de desde root:
# source /home/valvarez/.bashrc

# Borro ficheros .sgf y datos tmp_1 anteriores
rm -f *.sgf
rm /home/valvarez/tmp_1.e
rm /home/valvarez/tmp_1.n
rm /home/valvarez/tmp_1.z

# Leo los datos de la alerta
set DIRSAL      = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set DIRbin      = "/home/valvarez/PFC/bin"

# Se definen las variables
set EVID = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{EVID = substr($1,1,11); print
EVID}'`
set ano = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{ano = substr($2,1,4); print
ano}'`
```

```

set mes = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{mes = substr($2,6,2); print
mes}``
set dia = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{dia = substr($2,9,2); print
dia}``
set hora = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{hora = substr($3,1,2); print
hora}``
set min = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{min = substr($3,4,2); print
min}``
set seg = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{seg = substr($3,7,2); print
seg}``
set EVLA = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{EVLA = substr($4,1,7); print
EVLA}``
set EVLO = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{EVLO = substr($5,1,7); print
EVLO}``
set PELI = "/home/valvarez/PELICULA/PELI$EVID"

# Tiempo del evento en epoch
echo "hora evento " $ano $mes $dia $hora $min $seg
set JULEVE = `date --utc --date="$ano/$mes/$dia $hora : $min : $seg" +%s`
#set JULEVE = `h toe $ano/$mes/$dia $hora': '$min': '$seg`

# Tiempo del fichero que contiene al evento en epoch
set JULOH1 = `date --utc --date="$ano/$mes/$dia $hora":00:00" +%s`
echo "dias" $JULEVE $JULOH1
@ JULOH0 = $JULOH1 - 3600
@ JULOH2 = $JULOH1 + 3600
echo "tres" $JULOH0 $JULOH1 $JULOH2

# Nombre de los ficheros
set ano = `date --utc --date=@"$JULOH0" +"%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{ano =
substr($1,1,4); print ano}``
set mes = `date --utc --date=@"$JULOH0" +"%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{mes =
substr($1,6,2); print mes}``
set dia = `date --utc --date=@"$JULOH0" +"%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{dia =
substr($1,9,2); print dia}``
set hora = `date --utc --date=@"$JULOH0" +"%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{hora
= substr($3,1,2); print hora}``
set file0E = /home/valvarez/scream/data/3211e4/"$ano$mes$dia"_$hora""00e.sac"
set file0N = /home/valvarez/scream/data/3211n4/"$ano$mes$dia"_$hora""00n.sac"
set file0Z = /home/valvarez/scream/data/3211z4/"$ano$mes$dia"_$hora""00z.sac"

```

```
set ano = `date --utc --date=@"$JULOH1" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{ano =
substr($1,1,4); print ano}`
set mes = `date --utc --date=@"$JULOH1" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{mes =
substr($1,6,2); print mes}`
set dia = `date --utc --date=@"$JULOH1" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{dia =
substr($1,9,2); print dia}`
set hora = `date --utc --date=@"$JULOH1" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{hora
= substr($3,1,2); print hora}`
set file1E = /home/valvarez/scream/data/3211e4/"$ano$mes$dia"_$hora""00e.sac"
set file1N = /home/valvarez/scream/data/3211n4/"$ano$mes$dia"_$hora""00n.sac"
set file1Z = /home/valvarez/scream/data/3211z4/"$ano$mes$dia"_$hora""00z.sac"
set ano = `date --utc --date=@"$JULOH2" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{ano =
substr($1,1,4); print ano}`
set mes = `date --utc --date=@"$JULOH2" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{mes =
substr($1,6,2); print mes}`
set dia = `date --utc --date=@"$JULOH2" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{dia =
substr($1,9,2); print dia}`
set hora = `date --utc --date=@"$JULOH2" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{hora
= substr($3,1,2); print hora}`
set file2E = /home/valvarez/scream/data/3211e4/"$ano$mes$dia"_$hora""00e.sac"
set file2N = /home/valvarez/scream/data/3211n4/"$ano$mes$dia"_$hora""00n.sac"
set file2Z = /home/valvarez/scream/data/3211z4/"$ano$mes$dia"_$hora""00z.sac"
echo $file0E $file0N $file0Z
echo $file1E $file1N $file1Z
echo $file2E $file2N $file2Z

# Cargo los datos sac y escribo a fichero tmp los valores de la
# primera muestra
sac << eof
setbb file0E "$file0E"
setbb file0N "$file0N"
setbb file0Z "$file0Z"
setbb file1E "$file1E"
setbb file1N "$file1N"
setbb file1Z "$file1Z"
setbb file2E "$file2E"
setbb file2N "$file2N"
setbb file2Z "$file2Z"
read %file0E
merge %file1E
```



```
merge %file2E
write tmp_1.e
read %file0N
merge %file1N
merge %file2N
write tmp_1.n
read %file0Z
merge %file1Z
merge %file2Z
write tmp_1.z
setbb nzyear ( &1,NZYEAR )
setbb nzjday ( &1,NZJDAY )
setbb nzhour ( &1,NZHOUR )
setbb nzmin ( &1,NZMIN )
setbb nzsec ( &1,NZSEC )
sc rm tmp_1
sc echo %nzyear > tmp_1
sc echo %nzjday >> tmp_1
sc echo %nzhour >> tmp_1
sc echo %nzmin >> tmp_1
sc echo %nzsec >> tmp_1
quit
eof

# Leo los valores de la primera muestra
set recano = `head -1 tmp_1 | tail -1`
set recday = `head -2 tmp_1 | tail -1`
set recora = `head -3 tmp_1 | tail -1`
set recmin = `head -4 tmp_1 | tail -1`
set recsec = `head -5 tmp_1 | tail -1`

# Calculo tiempo de la primera muestra en epoch
set recanoep = `date --utc --date="$recano/01/01" +%s `
set JULREC = `gmtmath -Q $recanoep $recday 86400 MUL ADD $recora 3600 MUL ADD
$recmin 60 MUL ADD $recsec ADD 86400 SUB =`

# Calculo distancia epicentral: distancia sobre la esfera desde la
# estación_GUD de registro al epicentro (comando -mapproject)
```

```
#set dist_arco = `echo "40.6430 -4.1537" | mapproject -G$EVLA/$EVLO | awk
'{{print $3*360/40000000}}'`
#echo "dist_arco " $dist_arco

# Calculo distancia epicentral: distancia sobre la esfera desde la
# estación_GUD de registro al epicentro (resolución del triángulo esférico)
set g = `gmtmath -Q 90 40.6430 SUB =`
set e = `gmtmath -Q 90 $EVLA SUB =`
set p = `gmtmath -Q $EVLO -4.1537 SUB =`
set dist_radianes = `gmtmath -Q $g COSD $e COSD MUL $g SIND $e SIND $p COSD
MUL MUL ADD ACOS =`
set dist_grados = `gmtmath -Q $dist_radianes 180 MUL PI DIV =`
# Parte entera de dist_grados
set dist_grados = `gmtmath -Q $dist_grados RINT =`
if ( 180 <= $dist_grados) then
    set dist_grados = `gmtmath -Q 360 $dist_grados SUB =`
endif
set dist_km = `gmtmath -Q $dist_grados 40000 MUL 360 DIV =`

# Calculo el tiempo de las primeras llegadas de las ondas P, sustituyendo em
# la expresión resultante del ajuste polinómico la distancia epicentral
if ( 100 <= $dist_grados) then
    set t1_P = 1000
else
    set t1_P = `gmtmath -Q 0.0004 $dist_grados $dist_grados $dist_grados MUL
MUL MUL 0.1115 $dist_grados $dist_grados MUL MUL SUB 15.331 $dist_grados
MUL ADD =`
endif
# Parte entera de t1_P
set t1_P = `gmtmath -Q $t1_P RINT =`

# Calculo de t0
set t0 = `gmtmath -Q $JULEVE $JULREC SUB =`

# Duracion del segmento
@ ini = $t0 + $t1_P - 180
@ fin = $t0 + $t1_P + 360

# Extraigo segmento, corrijo de respuesta y creo dibujo
sac << eof
```

```
setbb EVID "$EVID"
setbb evla $EVLA
setbb evlo $EVLO
setbb psfile "%EVID%_segmento.ps"
setbb t0 "$t0"
setbb ini "$ini"
setbb fin "$fin"
# Segmentacion
cut %ini %fin
# Componente E/W
read tmp_1.e
rmean
transfer from polezero s /home/valvarez/VICENTE/GUD_EVBB.zp
sync
write tmp_1.e
# Componente N/S
read tmp_1.n
rmean
transfer from polezero s /home/valvarez/VICENTE/GUD_NVBB.zp
sync
write tmp_1.n
# Componente Z
read tmp_1.z
rmean
transfer from polezero s /home/valvarez/VICENTE/GUD_ZVBB.zp
sync
write tmp_1.z
# Dibujo
cut off
read tmp_1.z tmp_1.e tmp_1.n
ch STLA 40.6430
ch STLO -4.1537
ch EVLA %evla
ch EVLO %evlo
ch LCALDA
setbb ds '( concatenate ' &1,kstnm ' ' &1,kzdate ' ' &1,kztime ' ) ' evaluate
to a &1,baz
setbb ds '( concatenate ' &1,kstnm ' ' &1,kzdate ' ' &1,kztime ' ) ' evaluate
to d &1,dist
title '( concatenate ' %ds% ' ' , az = ' ' %a ' , dist = ' ' %d km ' )'
```

```
title on
xlabel "Tiempo @(s@)"
ylabel "Velocidad @(nm/s@)"
sgf
bd sgf
qdp off
# Filtro
bp co 0.01 5 p 2 n 4
p1
sgftops f001.sgf $DIRSAL/%psfile
sc convert -crop 500x650+50+100 -rotate 90 $DIRSAL/%psfile
$DIRSAL/%EVID%_segmento_alerta_lej.jpg

# Si existen los ficheros de datos (existen datos registrados/almacenados por
# GUD), se pinta el segmento
sc cp $DIRSAL/%EVID%_segmento_alerta_lej.jpg
$DIR_DISPLAY/segmento_alerta_7.jpg
sc rm -f *.sgf
enddevices
quit
eof

# Si existen los ficheros de datos (datos registrados/almacenados por GUD
# para ese evento), se lanza la animación del segmento que acabamos de crear
if ( -e $DIR/tmp_1.e && -e $DIR/tmp_1.n && -e $DIR/tmp_1.z ) then
    $DIRbin/peli_lej $EVID
    cp "$PELI/$EVID".gud.peli.gif "$DIRSAL/$EVID"_peli_alerta_lej.gif
    cp "$DIRSAL/$EVID"_peli_alerta_lej.gif $DIR_DISPLAY/peli_alerta_8.gif
    rm $DIR_DISPLAY/ASPA_EN_CONSTRUCCION.png
else
    rm $DIR_DISPLAY/ASPA_EN_CONSTRUCCION.png
    cp /home/valvarez/Escritorio/img_tapices/ASPA_SIN_DATOS.png
    $DIR_DISPLAY/ASPA_SIN_DATOS.png
endif

#rm -r /home/valvarez/PELICULA/PELI$EVID
```

20.segmentar_proximo

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA SAC QUE PERMITE LA CONSTRUCCIÓN Y EL DISEÑO DE UN SISMOGRAMA
# DIGITAL DE 3 COMPONENTES DE MOVIMIENTO Y MUESTRA, EN UNOS EJES VELOCIDAD-
# TIEMPO, LA FORMA DE ONDA VINCULADA A LOS TERREMOTOS PRÓXIMOS REGISTRADOS
# POR LA ESTACIÓN SÍSMICA GUD.
# V. Álvarez (2012)
#=====

rm /home/valvarez/PFC/DISPLAY/ASPA_SIN_DATOS.png
# Retraso la construcción del segmento 2 horas para dar tiempo a que GUD
# registre y almacene el fichero de datos posterior. Pongo imagen
# "en_construccion" mientras tanto:
cp /home/valvarez/Escritorio/img_tapices/ASPA_EN_CONSTRUCCION.png
   /home/valvarez/PFC/DISPLAY/ASPA_EN_CONSTRUCCION.png
sleep 7200

# Para que quede definida la variable SACAUX al ejecutar el programa a través
# del cron desde /home/valvarez en vez de desde root:
# source /home/valvarez/.bashrc

# Borro ficheros sgf anteriores y datos tmp_p anteriores
rm -f *.sgf
rm /home/valvarez/tmp_p.e
rm /home/valvarez/tmp_p.n
rm /home/valvarez/tmp_p.z
rm /home/valvarez/PFC/DISPLAY/ASPA_SIN_DATOS.png

# Leo los datos de la alerta
set DIRSAL      = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set DIRbin      = "/home/valvarez/PFC/bin"

set EVID = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{EVID = substr($1,1,7); print
EVID}'`
set ano = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{ano = substr($2,1,4); print
ano}'`
```

```
set mes = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{mes = substr($2,6,2); print
mes}``
set dia = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{dia = substr($2,9,2); print
dia}``
set hora = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{hora = substr($3,1,2); print
hora}``
set min = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{min = substr($3,4,2); print
min}``
set seg = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{seg = substr($3,7,2); print
seg}``
set EVLA = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{EVLA = substr($4,1,7); print
EVLA}``
set EVLO = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{EVLO = substr($5,1,7); print
EVLO}``
set PELI = "/home/valvarez/PELICULA/PELI$EVID"

# Tiempo del evento en epoch
set JULEVE = `date --utc --date="$ano/$mes/$dia $hora : $min : $seg" +%s`
#set JULEVE = `htoe $ano/$mes/$dia $hora': '$min': '$seg`

# Tiempo del fichero que contiene al evento en epoch
set JULOH1 = `date --utc --date="$ano/$mes/$dia $hora":00:00" +%s`
echo "dias" $JULEVE $JULOH1
@ JULOH0 = $JULOH1 - 3600
@ JULOH2 = $JULOH1 + 3600
echo "tres" $JULOH0 $JULOH1 $JULOH2

# Nombre de los ficheros
set ano = `date --utc --date=@"$JULOH0" +"%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{ano =
substr($1,1,4); print ano}``
set mes = `date --utc --date=@"$JULOH0" +"%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{mes =
substr($1,6,2); print mes}``
set dia = `date --utc --date=@"$JULOH0" +"%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{dia =
substr($1,9,2); print dia}``
set hora = `date --utc --date=@"$JULOH0" +"%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{hora
= substr($3,1,2); print hora}``
set file0E = /home/valvarez/scream/data/3211e4/"$ano$mes$dia"_$hora""00e.sac"
set file0N = /home/valvarez/scream/data/3211n4/"$ano$mes$dia"_$hora""00n.sac"
set file0Z = /home/valvarez/scream/data/3211z4/"$ano$mes$dia"_$hora""00z.sac"
```

```

set ano = `date --utc --date=@"$JULOH1" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{ano =
substr($1,1,4); print ano}'`
set mes = `date --utc --date=@"$JULOH1" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{mes =
substr($1,6,2); print mes}'`
set dia = `date --utc --date=@"$JULOH1" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{dia =
substr($1,9,2); print dia}'`
set hora = `date --utc --date=@"$JULOH1" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{hora
= substr($3,1,2); print hora}'`
set file1E = /home/valvarez/scream/data/3211e4/"$ano$mes$dia"_$hora""00e.sac"
set file1N = /home/valvarez/scream/data/3211n4/"$ano$mes$dia"_$hora""00n.sac"
set file1Z = /home/valvarez/scream/data/3211z4/"$ano$mes$dia"_$hora""00z.sac"
set ano = `date --utc --date=@"$JULOH2" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{ano =
substr($1,1,4); print ano}'`
set mes = `date --utc --date=@"$JULOH2" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{mes =
substr($1,6,2); print mes}'`
set dia = `date --utc --date=@"$JULOH2" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{dia =
substr($1,9,2); print dia}'`
set hora = `date --utc --date=@"$JULOH2" +%Y/%m/%d %Y%j %T %z" | awk '{hora
= substr($3,1,2); print hora}'`
set file2E = /home/valvarez/scream/data/3211e4/"$ano$mes$dia"_$hora""00e.sac"
set file2N = /home/valvarez/scream/data/3211n4/"$ano$mes$dia"_$hora""00n.sac"
set file2Z = /home/valvarez/scream/data/3211z4/"$ano$mes$dia"_$hora""00z.sac"
echo $file0E $file0N $file0Z
echo $file1E $file1N $file1Z
echo $file2E $file2N $file2Z

# Cargo los datos sac y escribo a fichero tmp los valores de la
# primera muestra
sac << eof
setbb file0E "$file0E"
setbb file0N "$file0N"
setbb file0Z "$file0Z"
setbb file1E "$file1E"
setbb file1N "$file1N"
setbb file1Z "$file1Z"
setbb file2E "$file2E"
setbb file2N "$file2N"
setbb file2Z "$file2Z"
read %file0E
merge %file1E

```

```
merge %file2E
write tmp_p.e
read %file0N
merge %file1N
merge %file2N
write tmp_p.n
read %file0Z
merge %file1Z
merge %file2Z
write tmp_p.z
setbb nzyear ( &1,NZYEAR )
setbb nzjday ( &1,NZJDAY )
setbb nzhour ( &1,NZHOURL )
setbb nzmin ( &1,NZMIN )
setbb nzsec ( &1,NZSEC )
sc rm tmp_p
sc echo %nzyear > tmp_p
sc echo %nzjday >> tmp_p
sc echo %nzhour >> tmp_p
sc echo %nzmin >> tmp_p
sc echo %nzsec >> tmp_p
quit
eof
# Leo los valores de la primera muestra
set recano = `head -1 tmp_p | tail -1`
set recday = `head -2 tmp_p | tail -1`
set recora = `head -3 tmp_p | tail -1`
set recmin = `head -4 tmp_p | tail -1`
set recsec = `head -5 tmp_p | tail -1`

# Calculo tiempo de la primera muestra en epoch
set recanoep = `date --utc --date="$recano/01/01" +%s`
set JULREC = `gmtmath -Q $recanoep $recday 86400 MUL ADD $recora 3600 MUL ADD
$recmin 60 MUL ADD $recsec ADD 86400 SUB =`

# Calculo distancia epicentral: distancia sobre la esfera desde la
# estación_GUD de registro al epicentro (comando -mapproject)
#set dist_arco = `echo "40.6430 -4.1537" | mapproject -G$EVLA/$EVLO | awk
'{print $3*360/40000000}'`
```



```
# Calculo distancia epicentral: distancia sobre la esfera desde la
# estación_GUD de registro al epicentro (resolución del triángulo esférico)
set g = `gmtmath -Q 90 40.6430 SUB =`
set e = `gmtmath -Q 90 $EVLA SUB =`
set p = `gmtmath -Q $EVLO -4.1537 SUB =`
set dist_radianes = `gmtmath -Q $g COSD $e COSD MUL $g SIND $e SIND $p COSD
MUL MUL ADD ACOS =`
set dist_grados = `gmtmath -Q $dist_radianes 180 MUL PI DIV =`
# Parte entera de dist_grados
set dist_grados = `gmtmath -Q $dist_grados RINT =`
set dist_km = `gmtmath -Q $dist_grados 40000 MUL 360 DIV =`

# Calculo el tiempo de las primeras llegadas de las ondas P, sustituyendo em
# la expresión resultante del ajuste polinómico la distancia epicentral
if ( 100 <= $dist_grados) then
    set t1_P = 1000
else
    set t1_P = `gmtmath -Q 0.0004 $dist_grados $dist_grados $dist_grados MUL
    MUL MUL 0.1115 $dist_grados $dist_grados MUL MUL SUB 15.331 $dist_grados
    MUL ADD =`
endif
# Parte entera de t1_P
set t1_P = `gmtmath -Q $t1_P RINT =`

# Calculo de t0
set t0 = `gmtmath -Q $JULEVE $JULREC SUB =`

# Duracion del segmento
@ ini = $t0 + $t1_P - 60
@ fin = $t0 + $t1_P + 360

# Extraigo segmento, corrijo de respuesta y creo dibujo
sac << eof
setbb EVID "$EVID"
setbb evla $EVLA
setbb evlo $EVLO
setbb psfile "%EVID%_segmento.ps"
setbb t0 "$t0"
setbb ini "$ini"
setbb fin "$fin"
```

```
# Segmentacion
cut %ini %fin
# Componente E/W
read tmp_p.e
rmean
transfer from polezero s /home/valvarez/VICENTE/GUD_EVBB.zp
sync
write tmp_p.e
# Componente N/S
read tmp_p.n
rmean
transfer from polezero s /home/valvarez/VICENTE/GUD_NVBB.zp
sync
write tmp_p.n
# Componente Z
read tmp_p.z
rmean
transfer from polezero s /home/valvarez/VICENTE/GUD_ZVBB.zp
sync
write tmp_p.z
# Dibujo
cut off
read tmp_p.z tmp_p.e tmp_p.n
ch STLA 40.6430
ch STLO -4.1537
ch EVLA %evla
ch EVLO %evlo
ch LCALDA
setbb ds '( concatenate ' &1,kstnm ' ' &1,kzdate ' ' &1,kztime ' ) ' evaluate
to a &1,baz
setbb ds '( concatenate ' &1,kstnm ' ' &1,kzdate ' ' &1,kztime ' ) ' evaluate
to d &1,dist
title '( concatenate ' %ds% ' ' , az = ' ' %a ' , dist = ' ' %d km ' )'
title on
xlabel "Tiempo @(s@)"
ylabel "Velocidad @(nm/s@)"
sgf
bd sgf
qdp off
# Filtro
```

```
bp co 5 20 p 2 n 4
p1
sgftops f001.sgf $DIRSAL/%psfile
sc convert -crop 500x650+50+100 -rotate 90 $DIRSAL/%psfile
$DIRSAL/%EVID%_segmento_alerta_prox.jpg

# Si existen los ficheros de datos (existen datos registrados/almacenados por
# GUD), se pinta el segmento
sc cp $DIRSAL/%EVID%_segmento_alerta_prox.jpg
$DIR_DISPLAY/segmento_alerta_7.jpg
sc rm -f *.sgf
enddevices
quit
eof

# Si existen los ficheros de datos (datos registrados/almacenados por GUD
# para ese evento), se lanza la animación del segmento que acabamos de crear
if ( -e $DIR/tmp_p.e && -e $DIR/tmp_p.n && -e $DIR/tmp_p.z ) then
    $DIRbin/peli_prox $EVID
    cp "$PELI/$EVID".gud.peli.gif "$DIRSAL/$EVID"_peli_alerta_prox.gif
    cp "$DIRSAL/$EVID"_peli_alerta_prox.gif
    $DIR_DISPLAY/peli_alerta_8.gif
    rm $DIR_DISPLAY/ASPA_EN_CONSTRUCCION.png
else
    rm $DIR_DISPLAY/ASPA_EN_CONSTRUCCION.png
    cp /home/valvarez/Escritorio/img_tapices/ASPA_SIN_DATOS.png
    $DIR_DISPLAY/ASPA_SIN_DATOS.png
endif

#rm -r /home/valvarez/PELICULA/PELI$EVID
```

21.tabla_alerta_lejano

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT QUE PERMITE GENERAR AUTOMÁTICAMENTE EL LISTADO CON LOS DATOS
# DE LA ÚLTIMA ALERTA SÍSMICA DE UN TERREMOTO LEJANO, A PARTIR DEL FICHERO
# TEMPORAL DE TEXTO QUE FUE CREADO POR LA APLICACIÓN CREA_TABLAS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

set fecha = `date '+20%y-%m-%d_%H:%M:%S'`
set DIRTABLAS = "/home/valvarez/VICENTE/TABLAS"
set O3 = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_alerta_lejano"
set DIRSAL = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set EVID = `cat $DIRSAL/alerta_lejano | awk '{EVID = substr($1,1,11); print EVID}'`
set O = $DIRSAL/$EVID"_datos_alerta_lej.ps"

pstext $O3 -R1/10/1/10 -JX10 -m -N -P -Wo -V > $O

convert -density 200 $O -resample 200 -normalize
"$DIRSAL/$EVID"_datos_alerta_lej.jpg

cp "$DIRSAL/$EVID"_datos_alerta_lej.jpg $DIR_DISPLAY/datos_alerta_6.jpg
rm "$DIRSAL/$EVID"_datos_alerta_lej.ps
```

22.tabla_alerta_proximo

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT QUE PERMITE GENERAR AUTOMÁTICAMENTE EL LISTADO CON LOS DATOS
# DE LA ÚLTIMA ALERTA SÍSMICA DE UN TERREMOTO PRÓXIMO, A PARTIR DEL FICHERO
# TEMPORAL DE TEXTO QUE FUE CREADO POR LA APLICACIÓN CREA_TABLAS.
# V. Álvarez (2012)
#=====
```

```
set fecha = `date '+20%y-%m-%d_%H:%M:%S'`
set DIRTABLAS = "/home/valvarez/VICENTE/TABLAS"
set O4 = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_alerta_proximo"
set DIRSAL = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set EVID = `cat $DIRSAL/alerta_proximo | awk '{EVID = substr($1,1,7); print EVID}'`
set O = $DIRSAL/$EVID"_datos_alerta_prox.ps"

pstext $O4 -R1/10/1/10 -JX10 -m -N -P -Wo -V > $O

convert -density 200 $O -resample 200 -normalize
"$DIRSAL/$EVID"_datos_alerta_prox.jpg

cp "$DIRSAL/$EVID"_datos_alerta_prox.jpg $DIR_DISPLAY/datos_alerta_6.jpg
rm "$DIRSAL/$EVID"_datos_alerta_prox.ps
```

23.tabla_listado_lejanos

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT QUE PERMITE GENERAR AUTOMÁTICAMENTE EL LISTADO DE TERREMOTOS
# LEJANOS Y ALERTAS SÍSMICAS DE SISMOS LEJANOS, OCURRIDOS EN LOS 30 ÚLTIMOS
# DÍAS, A PARTIR DEL ARCHIVO DE TEXTO QUE FUE CREADO POR LA APLICACIÓN
# CREA_TABLAS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

set fecha = `date '+20%y-%m-%d_%H:%M:%S'`
set DIRTABLAS = "/home/valvarez/VICENTE/TABLAS"
set O1 = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_listado_lejanos"
set DIRSAL = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set O = $fecha"_datos_listado_lej.ps"

pstext $O1 -R1/10/1/10 -JX10 -m -N -P -Wo -V > $O
```

```
gs -sDEVICE=jpeg -r500 -dNOPAUSE
-sOutputFile="$DIRSAL/$fecha"_datos_listado_lej.jpg $0 < /dev/null
convert "$DIRSAL/$fecha"_datos_listado_lej.jpg -resize 700
"$DIRSAL/$fecha"_datos_listado_lej.jpg

cp "$DIRSAL/$fecha"_datos_listado_lej.jpg $DIR_DISPLAY/datos_listado_4.jpg
rm "$fecha"_tabla_listado_lej.ps
```

24.tabla_listado_proximos

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA GMT QUE PERMITE GENERAR AUTOMÁTICAMENTE EL LISTADO DE TERREMOTOS
# LEJANOS Y ALERTAS SÍSMICAS DE SISMOS PRÓXIMOS, OCURRIDOS EN LOS 30
# ÚLTIMOS DÍAS, A PARTIR DEL ARCHIVO DE TEXTO QUE FUE CREADO POR LA
# APLICACIÓN CREA_TABLAS.
# V. Álvarez (2012)
#=====

set fecha = `date '+20%y-%m-%d_%H:%M:%S'`
set DIRTABLAS = "/home/valvarez/VICENTE/TABLAS"
set O2 = "$DIRTABLAS/tmp_tabla_listado_proximos"
set DIRSAL = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"
set DIR_DISPLAY = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set O = "$fecha"_datos_listado_prox.ps"

pstext $O2 -R1/10/1/10 -JX10 -m -N -P -Wo -V > $O

gs -sDEVICE=jpeg -r500 -dNOPAUSE
-sOutputFile="$DIRSAL/$fecha"_datos_listado_prox.jpg $O < /dev/null
convert "$DIRSAL/$fecha"_datos_listado_prox.jpg -resize 700
"$DIRSAL/$fecha"_datos_listado_prox.jpg

cp "$DIRSAL/$fecha"_datos_listado_prox.jpg $DIR_DISPLAY/datos_listado_2.jpg
rm "$fecha"_datos_listado_prox.ps
```

25.veosismo

```
#!/bin/csh -f
#=====
# PROGRAMA UNIX QUE PERMITE RASTREAR AUTOMÁTICAMENTE CADA MENSAJE DE
# CORREO SOLICITADO POR UN USUARIO Y RECIBIDO EN LA CUENTA DE CORREO DEL
# PROYECTO EN BUSCA DEL EVID CORRESPONDIENTE A DICHO TERREMOTO. A PARTIR
# DEL EVID SE REALIZA UNA BÚSQUEDA EN EL DIRECTORIO DIRIMG Y UNA
# EXTRACCIÓN DE LAS IMÁGENES ASOCIADAS AL TERREMOTO SOLICITADO, LAS
# CUALES HABÍAN SIDO GENERADAS Y ALMACENADAS CON ANTERIORIDAD, CON EL FIN
# DE MOSTRARLAS EN EL ÁREA IV DE LA UNIDAD DE VISUALIZACIÓN.
# V. Álvarez (2012)
#=====

# Definición de variables
set DIR          = "/home/valvarez/PFC"
set DIRIMG       = "/home/valvarez/PFC/IMAGENES"
set DIRMAIL      = "/home/valvarez/.local/share/evolution/mail/local/cur"
set DIR_DISPLAY  = "/home/valvarez/PFC/DISPLAY"
set DIRSAL       = "/home/valvarez/PFC/SALIDAS"

# Código para extraer evid
set EVID = `cat $DIRSAL/veosismo | awk 'NR==1 {print $3;exit}'
$DIRSAL/veosismo`

# Código para extraer usuario
grep -i From: $DIR/Inbox_copia | awk -v FS='<' -v RS='>' '$0=$2'
> $DIR_DISPLAY/usuario
chmod 777 $DIR_DISPLAY/usuario
convert -size 450x30 xc:PapayaWhip -font Bookman-DemiItalic -pointsize 22
-fill purple -gravity center -draw "text -95,0 ``cat $DIR_DISPLAY/usuario``"
$DIR_DISPLAY/usuario.png

# Borro imágenes existentes en DIR_DISPLAY seleccionadas por el último usuario
rm $DIR_DISPLAY/mapa_veo_9.jpg
rm $DIR_DISPLAY/datos_veo_10.jpg
rm $DIR_DISPLAY/segmento_veo_11.jpg
rm $DIR_DISPLAY/peli_veo_12.gif
# Captura de imágenes asociadas a evid
```

```
cp "$DIRSAL/$EVID"_mapa_alerta_* $DIR_DISPLAY/mapa_veo_9.jpg
cp "$DIRSAL/$EVID"_datos_alerta_* $DIR_DISPLAY/datos_veo_10.jpg
# Si no existe el fichero de datos de la película (no existen datos
# registrados/almacenados por GUD para ese evento), se copia la imagen y se
# lanza la ejecución de la animación del segmento que acabamos de crear
if ( -e "$DIRSAL/$EVID"_peli* ) then
    cp "$DIRSAL/$EVID"_segmento_alerta_* $DIR_DISPLAY/segmento_veo_11.jpg
    cp "$DIRSAL/$EVID"_peli* $DIR_DISPLAY/peli_veo_12.gif
else
    cp /home/valvarez/Escritorio/img_tapices/ASPA_SIN_DATOS_VEO.png
    /home/valvarez/PFC/DISPLAY/ASPA_SIN_DATOS_VEO.png
endif

exit 0
```


REFERENCIAS

- [1] Batlló et al. (1995). Sistema d'adquisició, condicionament, tractament i transmissió de senyals sísmics. *Imput*, no. 9, 29-37.
- [2] Bormann P. y J. Saul (2008). The new IASPEI standard broadband magnitude m_B . *Seismological Research Letters Vol. 79, N° 5*, pp. 698-705.
- [3] Bravo, B. (1994). Problemas Localización de Terremotos. *Pub. Instituto Geográfico Nacional, Publicación técnica n° 31*, 17-46.
- [4] Dreger, D. y V. Helmberger (1993). Determination of source parameters at regional distances with three-component sparse network data. *J. geophys. Res.* 98, 8107-8125.
- [5] Geiger, L. (1912). Probability method for the determination of earthquake epicenters from the arrival time only (translated from Geiger's 1910 German article). *Bulletin of St. Louis University*, 8(1), 56-71.
- [6] Gombert, J. (1995). Seismic Networks: the basic of why, how and what we learn from them. *Pub. Instituto Geográfico Nacional, Monografía n° 11*, ed. J. Mezcuá, p. 9-62.
- [7] Grünthal, G. (1998). European Macroseismic Scale 1998, (EMS-98), *CONCEIL DE L'EUROPE, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg*.
- [8] Gutenberg, B. (1945). Amplitudes of surface waves and magnitudes of shallow earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.* 35, 3-12.
- [9] Gutenberg, B. y C.F. Richter (1956). Magnitude and energy of earthquakes. *Annali Geofis.*, 9, 1-15.

- [10] Hanks T. C. y H. Kanamori (1979). A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research* 84, pp. 23480-23500.
- [11] Havskov J. y L. Ottemöller (2010). Routine Data Processing in Earth-quake Seismology. *With Sample Data, Exercises and Software*, 347 pp.
- [12] Herrin, E. (1968). Seismological Tables for P Phases. *Bulletin of Seismological Society of America*, 58, 1193-1241.
- [13] IRIS (1985). The design goals for a New Global Seismographic Network. *Incorporated Research Institutions for Seismology, Washington, DC*.
- [14] Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes: *J.Geophys. Res.*, v. 82, p.
- [15] Lee, W.H.K. y S.W. Stewart, (1981). Principles and Applications of Microearthquake Networks. *Academic Press, California*.
- [16] López, C. (2008). Nuevas fórmulas de magnitud para la Península Ibérica y su entorno. *Trabajo de investigación del Máster en Geofísica y Meteorología. Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I. Universidad Complutense de Madrid. Madrid*.
- [17] McNamara, D.E. y R.P. Buland, (2004). Ambient Noise Levels in the Continental United States, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 1517-1527.
- [18] Medvedev et al. (1965). Seismic Intensity Scale Version MSK 1964, *Akad. Nauk SSSR, Geofiz. Kom. (Moscow)*, pp. 10.
- [19] Mezcuá, J. y J.M. Martínez Solares, (1983). Sismicidad del área Ibero-Mogrebí. *Instituto Geográfico Nacional Pub 203*, 301 pp.
- [20] Mezcuá J. (1995). Fundamentos de la Red Sísmica de España. *Pub. Instituto Geográfico Nacional, Monografía nº 11*, 63-86.

- [21] Müller, T. y W. Zürn, (1983). Observation of Gravity Changes During the Passage of Cold Fronts. *J. Geophysics*, 53, 3, 155-162.
- [22] Nuttli, O.W. (1973). Seismic wave attenuation and magnitude relations for eastern north America. *J. geophys. Res.*, 78, 876-885.
- [23] Peterson J. y C.R. Hutt, (1989). IRIS/USGS Plans for upgrading the Global Seismograph Network. *U.S. Geological Survey Open File Report*, 89-471.
- [24] Peterson, J. (1993). Observation and modeling of seismic background noise, *U.S. Geol. Surv. Tech. Rept.*, 93-322, 1-95.
- [25] Richter, C. F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 25, N°1, pp. 1-32.
- [26] Rueda J. (1995). Fundamentos Análisis y procesamiento de datos en la Red Sísmica Nacional. *Pub. Instituto Geográfico Nacional, Monografía n° 11*, 87-111.
- [27] Rueda J. y J. Mezcua, (2001). Sismicidad, sismotectónica y peligrosidad sísmica en Galicia. *Publicación técnica n° 35. Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, 2001*, 64 pp.
- [28] Rueda J. y J. Mezcua, (2005). Near-real-time Seismic Moment-tensor determination in Spain. *Seismol. Res. Lett.* 76, 455-465.
- [29] Scherbaum, F. (1996). Of Poles and Zeros, Fundamentals of Digital Seismology. *Seism. Soc. Am.*, 66, 639-666.
- [30] Tapley W.C. y J.E. Tull, (1992). Guide to the Unix version of SAC. *Revisión 5*.
- [31] Tsuboi et al. (1995). Rapid determination of Mw from broadband P waveforms. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 85, N° 2, pp. 606-613.

- [32] Veith, K.F. y G.E. Clawson (1972). Magnitude from short period P-wave data. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 62 N° 2, pp. 435-452.

- [33] Wessel, P. y W.H.F. Smith, (1985). The Generic Mapping Tools, versión 4.1.3. *Manual Pages*.

- [34] Whitmore et al. (2002). Magnitude-dependent correction for Mwp. *Science of Tsunami Hazards* Vol. 20, N° 4, pp. 187-192.